Otros títulos publicados:

1. Ingeniería de Sistemas. *Benjamin S. Blanchard.*
2. La Teoría General de Sistemas. *Ángel A. Sarabia.*
3. Dinámica de Sistemas. *Javier Aracil.*
4. Dinámica de Sistemas Aplicada. *Ronald R. Drew.*
5. Ingeniería de Sistemas Aplicada. Isdefe.
6. CALS (Adquisición y apoyo continuado durante el ciclo de vida). *Rowland G. Freeman III.*



Isdefe
Ingeniería de Sistemas

c/ Edison, 4
28006 Madrid
Teléfono (34-1) 411 50 11
Fax (34-1) 411 47 03
E-mail: monografias@isdefe.es

P.V.P.: 1.000 Ptas.
(IVA incluido)

7

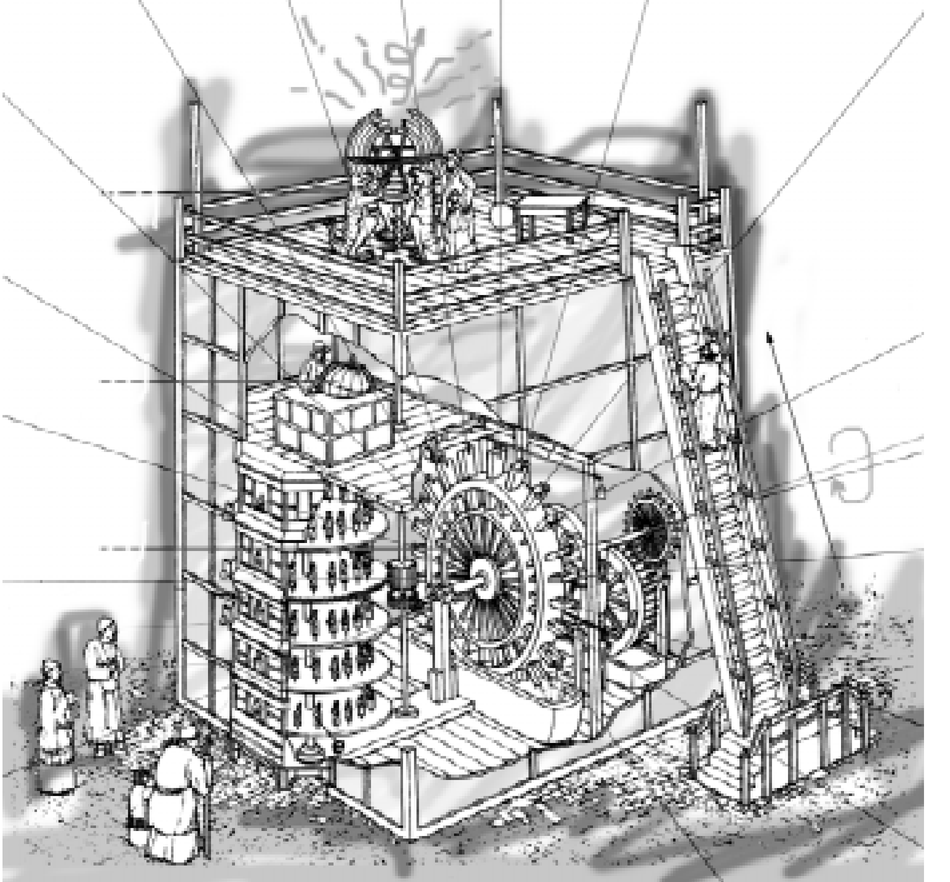
INGENIERÍA LOGÍSTICA. ***Benjamin S. Blanchard***

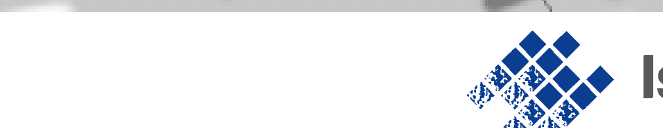
Publicaciones de Ingeniería de Sistemas

INGENIERÍA LOGÍSTICA

por

Benjamin S. Blanchard











Benjamin S. Blanchard

Benjamin S. Blanchard es el Director del Programa de Ingeniería de Sistemas de Virginia Polytechnic Institute & State University. Es consultor, investigador y profesor de cursos de ingeniería de sistemas, fiabilidad y mantenibilidad, apoyo logístico y coste del ciclo de vida. Antes de incorporarse a la comunidad académica en 1970 pasó 17 años en la industria como ingeniero de diseño, ingeniero de campo y responsable de ingeniería (Boeing Airplane Co., Sanders Associates, Bendix Corp. y General Dynamics Corp.). Ha escrito cuatro libros y es co-autor de otros cuatro, y ha publicado numerosos artículos sobre ingeniería de sistemas y disciplinas asociadas. Ha impartido conferencias en Asia, Europa, Australia y América. Es miembro de la Society of Logistics Engineers, de la que ha sido Presidente, y de otras organizaciones profesionales como el National Council on Systems Engineering. Es autor de la primera monografía de esta serie de Ingeniería de Sistemas.

ILUSTRACIÓN DE PORTADA
Torre astronómica del año 1090 d. C. en Honan (China)

Primera Edición: Octubre - 1995
1.250 ejemplares

c/ Edison, 4
28006 Madrid.

Diseño:
HB&h Dirección de arte y producción

Traducción:
Alison Canosa Uldall

Infografía de portada:
Salvador Vivas

Fotomecánica:
Microprint, S.A.

Impresión:
Gráficas Monterreina, S.A. (Madrid)

ISBN: 84-89338-06-X
Depósito legal: M- -1995
Printed in Spain - Impreso en España.

Sr. D. Javier Marín San Andrés
Director General de Navegación Aérea

PRÓLOGO

Históricamente, el concepto de "logística" proviene de diferentes fuentes. En el sector defensa la logística se refiere a un enfoque de ciclo de vida y al diseño y desarrollo de sistemas de forma que puedan ser apoyados eficaz y eficientemente durante su periodo previsto de utilización. El énfasis está en los "sistemas" y en el diseño y desarrollo de una infraestructura que apoyará adecuadamente a los sistemas operativo. En el sector comercial la logística se trata desde una perspectiva empresarial y se orienta al transporte y distribución de "productos consumibles" (en comparación con los sistemas). Incluye actividades tales como la adquisición y flujo de materiales y componentes no reparables, transporte y manejo, distribución, almacenaje y venta de productos.

Cuando se da un enfoque global integrado a la logística, las actividades asociadas al flujo material de productos consumibles en el sector comercial también son de aplicación al tratar con sistemas del sector defensa. El desarrollo de sistemas incluye la consideración de requisitos de flujos de materiales de artículos dentro del contexto de los objetivos del sistema en cuestión. Este autor ve la "logística" como una amalgama de esas dos facetas de actividad.

El objetivo de esta monografía es tratar la logística desde un enfoque integrado de ciclo de vida, con énfasis en las actividades de ingeniería asociadas a la planificación inicial, la definición de requisitos,

el diseño y desarrollo, la prueba y evaluación, la producción, y la entrega de sistemas para su operación. Estas actividades, que tratan de la adquisición de sistemas, se presentan en términos del proceso de ingeniería de sistemas descrito en la primera monografía de esta serie. Debe revisarse la bibliografía adicional referente a muchas de esas actividades empresariales, de adquisición y de gestión que están incluidas en el aspecto global del apoyo logístico integrado pero que caen fuera del empuje principal de la ingeniería de sistemas.

Finalmente quiero expresar mi sincero aprecio a Alberto Sols, a la dirección de Isdefe y al Comité de Redacción, por su apoyo y estímulo para contribuir a la divulgación de la "logística" a través de esta monografía.

Benjamin S. Blanchard

ÍNDICE GENERAL

1

Introducción



Esta es una monografía sobre «ingeniería logística», es decir, describe actividades de ingeniería asociadas con la distribución, el mantenimiento y apoyo continuado de los sistemas descritos en la primera monografía de esta serie, Ingeniería de Sistemas [1].

Históricamente, el concepto de «logística» tiene su origen en varias fuentes. En el sector de defensa, la logística está relacionada con un enfoque de ciclo de vida para el diseño y desarrollo de un sistema, de manera que éste pueda recibir apoyo rápido y económico a lo largo de su ciclo de vida programado. Se ha desarrollado el concepto de «apoyo logístico integrado» (Integrated Logistics Support, ILS), en el que se incluyen actividades de planificación, diseño, suministro y producción, mantenimiento y apoyo, retirada progresiva y reciclaje de materiales, y las funciones de gestión asociadas con cada actividad. El énfasis se centra en los «sistemas» y en el desarrollo de una infraestructura que les proporcione el apoyo suficiente a los sistemas operativos. La citada infraestructura tendrá en cuenta los niveles de mantenimiento y las funciones a desempeñar en cada nivel, necesidades de personal y formación, apoyo de suministros (repuestos/recambios y requisitos adicionales de inventario), equipos de prueba y apoyo, instalaciones, requisitos de transporte y manipulación, recursos informáticos y datos de mantenimiento [2].

En el sector comercial, la logística se aborda más bien desde una perspectiva de «negocios», estando orientada hacia el transporte y distribución de «productos consumibles», a diferencia de los sistemas.

Incluye actividades como la obtención y flujo de materiales no reparables, transporte y manipulación, distribución, almacenamiento y ventas de productos. Uno de sus objetivos consiste en desarrollar y gestionar el flujo entero de materiales, desde el suministro inicial (identificación de materias primas), por medio de la producción, el almacenamiento y la distribución final de productos destinados al consumo. Las consideraciones de ciclo de vida y las actividades relacionadas con el mantenimiento y apoyo de producto no suelen incluirse [3].

Cuando la logística se plantea con una perspectiva general integrada, las actividades asociadas con el flujo de material de productos consumibles en el sector comercial también pueden aplicarse a los sistemas del sector de defensa. El diseño, desarrollo, producción, distribución y apoyo continuado de sistemas requiere que se tengan en cuenta los requisitos de flujo de materiales para artículos consumibles, así como las prácticas comerciales necesarias para apoyar estos artículos en el contexto de los objetivos del sistema en cuestión. Desde el punto de vista del autor, la logística constituye una amalgama de las dos facetas mencionadas, en un nivel integrado de apoyo mutuo.

El objetivo de esta monografía es describir la logística desde un enfoque integrado de ciclo de vida, subrayando las actividades de ingeniería asociadas con la planificación inicial, la definición de requisitos, diseño y desarrollo, prueba y valoración, producción y distribución de sistemas.

1.1. Entorno actual

La complejidad de los sistemas de hoy está creciendo debido a la incorporación de nuevas tecnologías en un entorno que cambia constantemente; el ciclo de vida de muchos sistemas actualmente en uso se está prolongando debido a la limitación de recursos y a la

incapacidad de obtener sustitutos adecuados; gran número de estos sistemas no satisfacen las expectativas del usuario en términos de su funcionamiento y apoyo; parece que la base industrial se está debilitando (es decir, el número de suministradores de equipos, software, etc, está disminuyendo); y la competencia a nivel internacional está creciendo. Estos y otros factores relacionados provocan importantes retos en el entorno actual.

Cuando abordamos la situación actual desde una perspectiva económica, encontramos con frecuencia que existe una falta de «visibilidad total del coste», lo cual se ve en el efecto «iceberg» ilustrado en la Figura 1. Para muchos sistemas, los costes de diseño y desarrollo son relativamente conocidos; sin embargo, los costes asociados con la operación y apoyo del sistema están en cierto modo ocultos. Esencialmente, la comunidad del diseño ha sabido tratar con gran éxito los aspectos de coste a corto plazo, pero no se ha ocupado suficientemente de los efectos a largo plazo. Al mismo tiempo, la

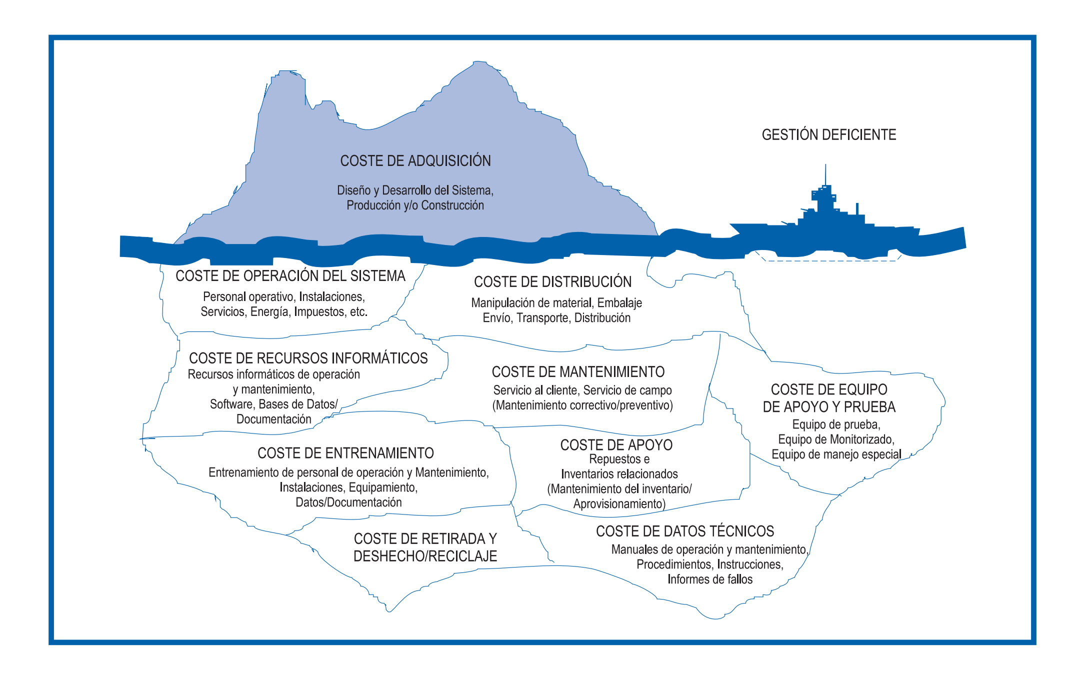


Figura 1. - VISIBILIDAD DEL COSTE TOTAL -

experiencia indica que gran parte del coste del ciclo de vida de un determinado sistema se atribuye a las actividades operativas y de apoyo en las fases de utilización de un programa (por ejemplo, hasta un 75% del coste total puede atribuirse al mantenimiento del sistema y a las actividades de apoyo) [4].

Adicionalmente, cuando se analizan las relaciones causa-efecto, nos encontramos con que una proporción importante del coste del ciclo de vida de un determinado sistema se debe a decisiones tomadas durante las fases de planificación preliminar y diseño conceptual. Las decisiones relativas a los requisitos operativos (por ejemplo, el número y ubicación de los emplazamientos previstos), políticas de mantenimiento y apoyo (dos escalones frente a tres niveles de mantenimiento), asignaciones de actividades manuales y/o automatizadas, esquemas de empaquetado de equipo y software, técnicas de diagnóstico, selección de materiales, conceptos del nivel de reparación, etc., tienen una repercusión importante en el coste total del ciclo de vida. Refiriéndonos a la Figura 1, gran parte de los costes ocultos de utilización se deben a las actividades de mantenimiento y apoyo, y los requisitos de estas actividades se generan básicamente como resultado del diseño inicial y de las decisiones iniciales de gestión. De este modo, mientras se intentan reducir los costes iniciales de un proyecto, muchas de las decisiones tomadas en esta fase pueden resultar catastróficas a largo plazo. En otras palabras, la oportunidad de reducir los costes totales es mayor durante las primeras fases del desarrollo del sistema. La Figura 2 ilustra las relaciones entre los costes a lo largo del ciclo de vida.

La situación se ve agravada en muchos casos por la falta de un «método disciplinado» en la adquisición de nuevos sistemas y/o modificación o rediseño de la ingeniería de los sistemas existentes. Los ingenieros de diseño, en general, no tratan todos los elementos de un sistema como una entidad única (lo cual significa incluir la infraestructura de apoyo, esencial para asegurar que el sistema cumpla la misión prevista). Además, existe una tendencia a «diseñar-ahora-

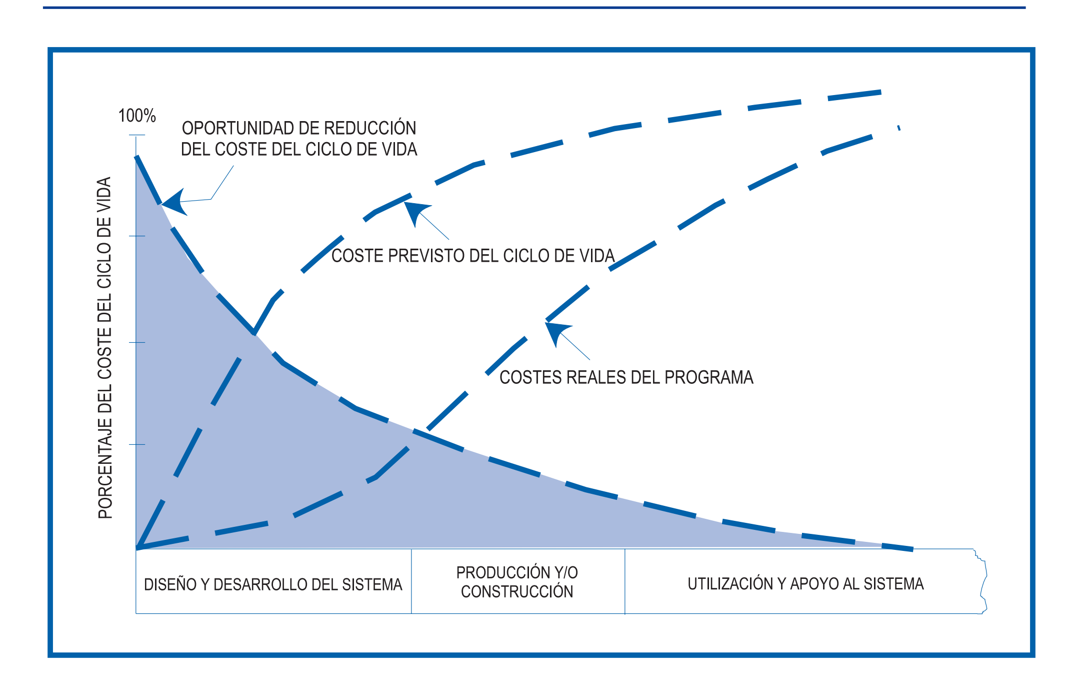


Figura 2. - COMPROMISO DE COSTE EN EL CICLO DE VIDA -

arreglar-después» utilizando el método abajo-arriba; es decir, se diseñan los elementos principales del sistema ahora, y luego se incorporarán los cambios y se considerarán los aspectos de apoyo.

A lo largo de los años, la logística ha sido considerada como posterior al diseño, y las actividades relacionadas con ella no han gozado de gran popularidad, sino que se han implementado en las fases de utilización y la importancia que se les ha concedido por parte de la dirección no ha tenido el nivel adecuado. La experiencia ha demostrado que los métodos de gestión prevalentes en muchos casos han sido perjudiciales. La Figura 3 muestra los efectos aproximados de una planificación preliminar del ciclo de vida, a diferencia de los programas que contemplan los aspectos de soportabilidad en una fase posterior. Por tanto, es preciso que las prioridades futuras para el diseño y desarrollo del sistema sean: (1) mejorar los métodos de definición los requisitos de sistemas, de acuerdo con las verdaderas necesidades del usuario, al principio de la fase del diseño conceptual, y considerar

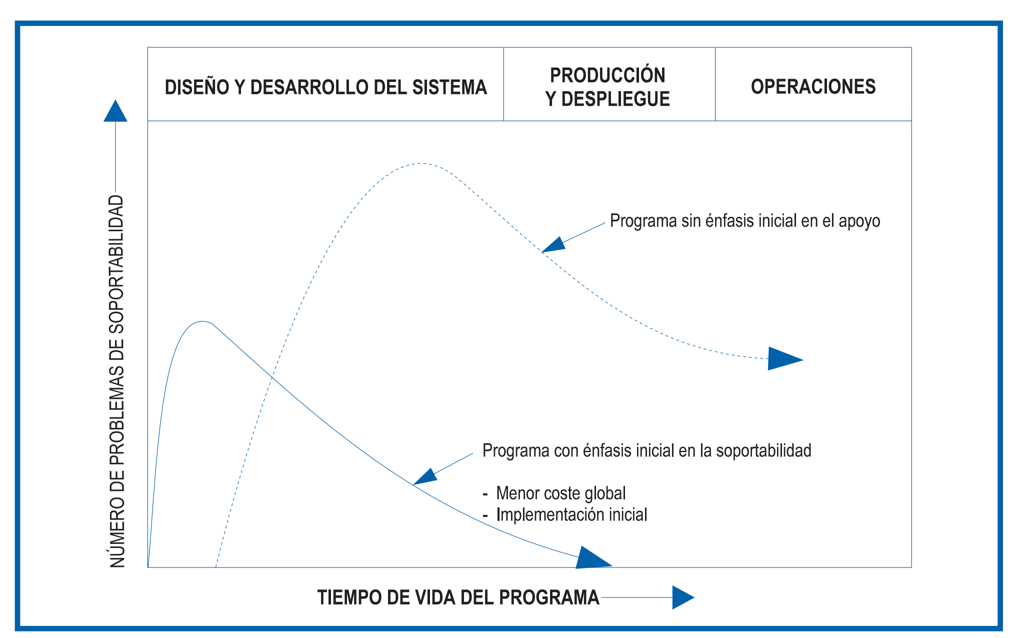


Figura 3. - CONSIDERACIÓN DE LOGÍSTICA
Y SOPORTABILIDAD EN UN PROGRAMA TÍPICO -

las prestaciones, la efectividad y todas las características esenciales de los sistemas de manera integrada (incluyendo los requisitos logísticos específicos); (2) considerar el sistema en su totalidad, sus principales componentes orientados a la misión y sus elementos de apoyo desde una perspectiva de ciclo de vida; (3) organizar e integrar las actividades necesarias relacionadas con la logística en la tarea principal del diseño del sistema, simultáneamente y de manera oportuna; y (4) establecer un método disciplinado que incluya las previsiones necesarias para la revisión, evaluación y realimentación con el fin de asegurar que la logística (y el diseño en cuanto a soportabilidad) reciba un tratamiento adecuado en el proceso global de adquisición del sistema.

Resumiendo, estas áreas prioritarias son inherentes al proceso de ingeniería de sistemas descrito en la primera monografía de esta serie. El concepto de apoyo logístico integrado pone en práctica un enfoque integrado de «ciclo de vida» al apoyo de sistemas, dando

énfasis a las primeras fases en la adquisición de sistemas. Dentro del marco completo de apoyo logístico integrado, se encuentran aquellas actividades relacionadas con la ingeniería que desempeñan un papel esencial en las fases iniciales del diseño y desarrollo de sistemas, ya que proporcionan al usuario sistemas que pueden recibir un apoyo rápido y económico durante toda su vida útil prevista; es decir, el diseño de un sistema para que éste pueda ser mantenido. La ingeniería logística, según la definimos en esta monografía, incluye estas primeras actividades de diseño, como uno de los muchos aspectos de ingeniería de sistemas. Es esencial que estos requisitos sean satisfechos en la práctica, si queremos desarrollar y producir sistemas rentables en el futuro.

1.2. Algunos términos y definiciones

Antes de profundizar en cuestiones concretas relacionadas con la «ingeniería logística», conviene definir algunos conceptos clave:

A) **Ingeniería de sistemas**. En términos generales, la ingeniería de sistemas es «la aplicación efectiva de métodos científicos y de ingeniería con el fin de transformar una necesidad operativa en una configuración definida de un sistema mediante un proceso iterativo arriba-abajo de definición de requisitos, análisis y asignación funcional, síntesis, optimización del diseño, prueba y evaluación». Está orientada al proceso e incluye las previsiones esenciales de realimentación y control [5].

La ingeniería de sistemas puede definirse también como «la aplicación de métodos científicos y de ingeniería para: (a) transformar una necesidad operativa en la descripción de los parámetros de prestaciones de un sistema y en su configuración, mediante la utilización de un proceso iterativo de definición, síntesis, análisis, diseño, prueba y evaluación; (b) integrar los parámetros técnicos relacionados y asegurar la compatibilidad de todas las interrelaciones físicas,

funcionales y del sistema completo; y (c) integrar los aspectos de fiabilidad, mantenibilidad, seguridad, supervivencia, de personal y otros similares en el proceso global de ingeniería para conseguir los objetivos técnicos, de coste y de calendario fijados» [6].

La «soportabilidad» es una de las principales características del diseño que ha de integrarse a través del proceso de ingeniería de sistemas; las actividades relacionadas con la ingeniería logística deben integrarse adecuadamente con otras disciplinas relacionadas con el diseño.

B) **Apoyo logístico integrado** (Integrated Logistic Support, ILS). En el sector de defensa, el ILS se define como «un método disciplinado, unificado e iterativo relativo a las actividades de gestión y técnicas necesarias para: (a) desarrollar los requisitos de apoyo relacionados de manera consistente con los objetivos de apresto, los de diseño y las relaciones de éstos entre sí; (b) integrar de forma efectiva las consideraciones de apoyo en el diseño del sistema y equipo; (c) identificar el método más rentable de apoyar el sistema en el campo; y (d) asegurar el desarrollo y la adquisición de los elementos necesarios para la estructura de apoyo».

El ILS abarca el ciclo de vida entero del sistema e incluye actividades de planificación, diseño y desarrollo, suministro y producción/construcción, transporte y distribución, utilización y apoyo del sistema, desecho y reciclaje y las funciones de gestión asociadas con cada área. Los elementos concretos del ILS están identificados en la Figura 4. Mientras que los conceptos y actividades relativos al ILS se derivan principalmente del sector de defensa, sus principios pueden aplicarse y adaptarse a las necesidades concretas de cualquier tipo de sistema, incluídos los sistemas de transportes, de comunicaciones, una fábrica comercial, un sistema de distribución de información, etc.

C) **Ingeniería logística**. La ingeniería logística incluye las fun-

ELEMENTOS DE APOYO LOGÍSTICO INTEGRADO

1. Planificación de mantenimiento. El proceso mediante el cual se desarrollan y se establecen los conceptos de mantenimiento y los requisitos del ciclo de vida del sistema.

2. Mano de obra y personal. La identificación y adquisición de personal militar y civil con la formación y especialización necesarias para operar y apoyar el sistema durante su vida útil en tiempos de guerra y de paz.

3. Apoyo de suministro. Todas las actividades, los procedimientos y técnicas utilizados con el fin de determinar las necesidades de adquirir, catalogar, recibir, almacenar, transferir, emitir y desechar artículos secundarios. Incluye previsiones de apoyo inicial y apoyo de reabastecimiento. Incluye también la adquisición de apoyo logístico para equipos de apoyo y prueba.

4. Equipos de apoyo y prueba. Todos los equipos (móviles o fijos) necesarios para apoyar la operación y el mantenimiento del sistema. Incluye artículos asociados multiuso de uso final, equipos de manipulación y mantenimiento en tierra, herramientas, equipos de meteorología y calibración, equipos de prueba y de prueba automática.

5. Datos técnicos. Información científica o técnica grabada en cualquier formato o soporte (por ejemplo, manuales y dibujos). Los programas informáticos y software relacionado no constituyen datos técnicos; la documentación de programas informáticos y software relacionado sí lo son. También quedan excluidos los datos financieros u otra información relacionada con la gestión de contratos.

6. Formación y apoyo de formación. Los procesos, procedimientos, técnicas, estrategias de formación y equipos utilizados para capacitar a personal civil y militar activo y de reserva en la operación y el apoyo del sistema. Incluye formación individual y de grupo (inicial y continuada); formación en nuevos equipos; formación inicial, formal y sobre la marcha; y planificación de apoyo logístico para equipos de formación y adquisiciones e instalaciones de dispositivos de formación.

7. Apoyo de recursos informáticos. Las instalaciones, el hardware, el software de sistemas, las herramientas para el desarrollo y soporte del software, la documentación y el personal necesario para la operación y el apoyo de sistemas informáticos incorporados.

8. Instalaciones. Los activos inmobiliarios permanentes, semipermanentes o temporales necesarios para apoyar el sistema, incluidos la elaboración de estudios para definir instalaciones o reformas de instalaciones, localizaciones, necesidades de espacio, servicios, requisitos medioambientales, requisitos inmobiliarios y equipos.

9. Embalaje, manipulación, almacenamiento y transporte. Los recursos, procesos, procedimientos, consideraciones de diseño y métodos para asegurar la correcta conservación, el embalaje, la manipulación y el transporte de todos los elementos del sistema, de los equipos y de apoyo. Incluye consideraciones medioambientales, requisitos de conservación de los equipos para almacenamiento a corto y largo plazo y la transportabilidad.

10. Interface del diseño. La relación entre los parámetros logísticos del diseño y los requisitos de recursos de apoyo. Dichos parámetros logísticos del diseño se expresan en términos de su operatividad y no como valores inherentes; se refieren específicamente a objetivos de disponibilidad del sistema y a costes de apoyo al sistema.

Figura 4. - LOS ELEMENTOS BÁSICOS DE APOYO LOGÍSTICO INTEGRADO (ILS) -

ciones básicas relacionadas con el diseño, implementadas de acuerdo con los objetivos del ILS. Esta puede incluir [2]: (a) la definición inicial de los requisitos de apoyo del sistema (forma parte de la tarea de definición de requisitos dentro del campo de la ingeniería de sistemas); (b) el desarrollo de criterios de entrada para el diseño no sólo de los elementos del sistema relativos a la misión, sino también de la infraestructura de apoyo (entrada de datos para las especificaciones de diseño y suministro); (c) la evaluación sobre la marcha de configuraciones alternativas de diseño, mediante la elaboración de estudios interrelacionados, la optimización y la revisión formal del diseño (esto es, las tareas cotidianas de integración del diseño relativas a la soportabilidad del sistema); (d) la determinación de los requisitos de recursos para el apoyo, a partir de una configuración determinada del diseño (cantidad de recursos humanos, niveles de especialización, recambios y repuestos, equipos de prueba y apoyo, instalaciones, transporte, datos y recursos informáticos); y (e) la evaluación sobre la marcha de la infraestructura global de apoyo con el fin de asegurar una mejora continua del proceso, por medio de procedimientos iterativos de medición, evaluación y recomendaciones (obtención de datos, evaluación y capacidad de mejorar el proceso).

La realización de estas funciones y de otras relacionadas constituye básicamente el alcance de la «ingeniería logística». Existen, por supuesto, muchas tareas adicionales relacionadas con el aprovisionamiento y obtención de recambios y repuestos, la obtención de equipos de prueba y apoyo, la preparación de manuales técnicos, la gestión continuada de las instalaciones y el almacenamiento de las necesidades de inventario, etc., que están incluidas dentro del marco global de ILS, aunque no profundizaremos en ellas en el presente estudio.

D) **Análisis de apoyo logístico** (Logistic Support Analysis, LSA). En el sector defensa, el LSA se define como la aplicación selectiva de métodos científicos y de ingeniería desarrollados durante la fase de adquisición, como parte del proceso de ingeniería de sistemas, cuyos

objetivos son: (a) facilitar la influencia de las consideraciones de apoyo en el diseño; (b) definir aquellos requisitos de apoyo relacionados íntimamente con el diseño y entre sí; (c) adquirir el apoyo necesario; y (d) proporcionar el apoyo necesario durante la fase operativa del sistema a un coste mínimo.

El LSA es inherente a las distintas funciones de la ingeniería logística, y les proporciona apoyo. En opinión del autor, el LSA se define como un proceso analítico continuo (incorporado como parte del trabajo global de análisis en la ingeniería de sistemas), que utiliza varias herramientas informáticas para apoyar el diseño y desarrollo de la ingeniería. Se destaca la integración de las herramientas y técnicas que, a su vez, complementan las actividades de ingeniería logística.

E) **Registro de análisis de apoyo logístico** (Logistic Support Analysis Record, LSAR). El LSAR se refiere a los datos (y a la base de datos) que recogen los resultados del LSA. Este incluye el método analítico que conduce a la determinación y definición de los requisitos de apoyo del sistema, siendo el LSAR el registro que recoge los resultados. Desgraciadamente, en muchas ocasiones se presta mayor atención a los datos y al formato adecuados que al ‘proceso’ inicial que debe seguirse para el desarrollo de dichos datos [2].

F) **Adquisición y apoyo continuo durante el ciclo de vida** (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support, CALS). De acuerdo con la sexta monografía de esta serie, CALS se refiere a la aplicación de tecnología informática al conjunto global de las actividades logísticas. En los últimos años, se ha empezado a conceder importancia al desarrollo y procesado de datos, principalmente en formato digital, con el objetivo de reducir el tiempo de preparación y procesado, eliminando redundancias, acortando el proceso de adquisición del sistema y reduciendo los costes globales del programa. Existen aplicaciones específicas para la automatización de publicaciones técnicas, la preparación de datos digitales para el aprovisionamiento de recambios/repuestos, y para el desarrollo de datos de diseño que definen productos en formato digital [8].

G) **Fiabilidad**. La fiabilidad se refiere a las características inherentes al diseño del sistema relativas a la capacidad de dicho sistema para desempeñar una función o misión designada. Específicamente, la fiabilidad puede definirse como la probabilidad de que un sistema o producto funcione de forma satisfactoria durante un período de tiempo determinado, en unas condiciones operativas específicas [9]. La fiabilidad abarca aquellas actividades, realizadas como parte del proceso de ingeniería de sistemas, que están orientadas a la tarea de asegurar que el producto final sea fiable y satisfaga las necesidades del usuario. Dichas actividades pueden incluir la realización de modelos de fiabilidad, la asignación de requisitos, las predicciones de fiabilidad (R, MTBF, λ), análisis (FTA, FMECA, RCM, etc.), la revisión del diseño, las pruebas de fiabilidad, y la obtención y el análisis de datos de fallos [4].

La fiabilidad, que influye de manera significativa en la frecuencia del mantenimiento y en los recursos necesarios para el apoyo del sistema, es uno de los principales factores de entrada en el diseño para soportabilidad. Las funciones de fiabilidad deben ser parte integrante de las actividades de ingeniería logística. La fiabilidad recibe un tratamiento más detallado en la octava monografía de esta serie [10].

H) **Mantenibilidad**. La mantenibilidad se refiere a las características inherentes al diseño relativas a la facilidad, precisión, seguridad y economía en la realización de actividades de mantenimiento. En el sentido más amplio, la mantenibilidad puede medirse en términos de una combinación de tiempos de mantenimiento (Mct, Mpt, M, ADL, LDT, MDT), horas de trabajo de personal (MLH/OH), factores de frecuencia de mantenimiento (MTBM, MTBR), coste de mantenimiento, y factores relacionados de apoyo logístico. En cuanto al «tiempo» se refiere, puede definirse como la probabilidad de que un elemento pueda conservarse en una condición específica o volver a tener esta condición gracias al mantenimiento realizado por personal especializado, utilizando unos procedimientos y recursos correctos y al nivel adecuado [11].

La ingeniería de mantenibilidad incluye aquellas actividades de diseño, realizadas como parte del proceso de ingeniería del sistema, con el fin de asegurar que el producto final es mantenible y satisface las necesidades del consumidor. Dichas actividades pueden incluir la realización de modelos y análisis de mantenibilidad, asignación de requisitos, predicción de mantenibilidad, análisis de ingeniería de mantenimiento (FMECA, RCM, análisis de tareas, análisis de nivel de reparación), revisión de diseño, demostración de mantenibilidad y obtención de datos de mantenimiento [4].

La mantenibilidad, que se basa en la fiabilidad e influye de manera significativa en la frecuencia y en los recursos necesarios para la realización de las tareas de mantenimiento, es uno de los principales factores de entrada en el diseño para la soportabilidad del sistema. Las funciones de ingeniería de mantenimiento han de ser una parte integrante de las actividades de ingeniería logística. En la práctica, gran número de las actividades especificadas para el análisis de apoyo logístico se realizan mediante programas formales de fiabilidad y mantenibilidad. Por tanto, podemos concluir que existe cierto grado de dependencia entre ambas áreas. Para un tratamiento más detallado de la mantenibilidad y del mantenimiento, véanse las monografías novena y décima de esta serie [12,22].

I) **Ingeniería de factores humanos**. Ocurre con frecuencia que en el diseño y desarrollo de un sistema se concede bastante importancia tanto al hardware como al software, y escasa o nula al factor humano.

Para que el sistema sea completo deben considerarse el ser humano y las interfaces existentes entre éste y los demás elementos del sistema (por ejemplo, equipos, software, instalaciones, datos, etc). Además de las funciones operativas, existen una serie de tareas de mantenimiento y apoyo que serán realizadas por personas. El factor

humano, también denominado «ergonomía» o «ingeniería humana», se refiere al diseño de un sistema o producto cuya operación y mantenimiento resulte fácil, eficiente y segura.

El «diseño para el hombre» considera una combinación de factores antropométricos (características físicas del ser humano), factores sensoriales (oído, emplazamiento, sensación), factores fisiológicos (efectos externos del entorno en el rendimiento del hombre) y factores psicológicos (emociones, actitud, motivación). La presente monografía considera de particular interés incluir el hombre como elemento de la infraestructura de mantenimiento y apoyo [13]. La ingeniería de factores humanos incluye aquellas actividades relacionadas con el diseño, realizadas como parte del proceso de ingeniería de sistemas, con el fin de asegurar el óptimo funcionamiento de las interfaces finales entre el hombre y el resto de los elementos del sistema en términos de operación y apoyo del sistema. Las actividades mencionadas pueden incluir el análisis de factores humanos y la asignación de requisitos, el análisis detallado de tareas, el desarrollo de diagramas de secuencias operativas y de mantenimento, el análisis de errores, el desarrollo de necesidades de formación, la revisión del diseño, y la prueba y evaluación del personal. Las actividades descritas deben ser integradas, de forma adecuada, con las actividades de ingeniería logística; en particular, en cuanto a la definición de los requisitos de personal (número y nivel de especialización) y para la capacitación de personal (tipo de capacitación, ayudas/equipos de capacitación, instalaciones y datos). La decimotercera monografía de esta serie desarrolla la cuestión del factor humano con mayor profundidad [14].

J) **Ingeniería de software**. El software, gracias las tendencias actuales y al constante desarrollo de la tecnología informática, se está convirtiendo (si es que no lo es ya) en un elemento de peso en la configuración de muchos sistemas. La experiencia reciente indica que las consideraciones de software son inherentes al diseño y al desarrollo de más del cincuenta por ciento (50%) de los sistemas actuales. El software puede dividirse en tres áreas [15]:

a) software que constituye un componente relacionado con la misión del sistema y que es necesario para el funcionamiento del mismo. Desde el punto de vista logístico, es necesario mantener este software durante el ciclo de vida programado.

b) software necesario para realizar funciones de mantenimiento del sistema (por ejemplo, métodos de diagnóstico, programas de seguimiento de condiciones). Una de las funciones de la ingeniería logística consiste en el desarrollo inicial y posterior mantenimiento de este software.

c) software necesario para apoyar las actividades relacionadas con el programa (por ejemplo, el relativo a los distintos modelos informáticos utilizados en los análisis de diseño, el relativo a la preparación y procesado de distintas categorías de datos de diseño, de acuerdo con los requisitos CALS).

Además, estas actividades relativas al apoyo del sistema deben integrarse en las actividades de ingeniería logística. La monografía decimoprimera de esta serie [16] se ocupa con detalle de la ingeniería de software.

1.3. Los elementos de la logística

Los principales elementos logísticos están definidos en los puntos 2 a 9 de la Figura 4. Estos elementos han de ser asignados y «proyectados» en el contexto de una «infraestructura» como la de la Figura 5. Respecto a esta Figura, debemos definir en primer lugar los requisitos operativos del sistema (es decir, la distribución o el despliegue de los elementos del sistema, perfiles de utilización, prestaciones y factores de efectividad, etc.) Dados los requisitos operativos, es necesario desarrollar el concepto de mantenimiento. Éste constituye una serie inicial de ilustraciones y manifestaciones sobre cómo debe

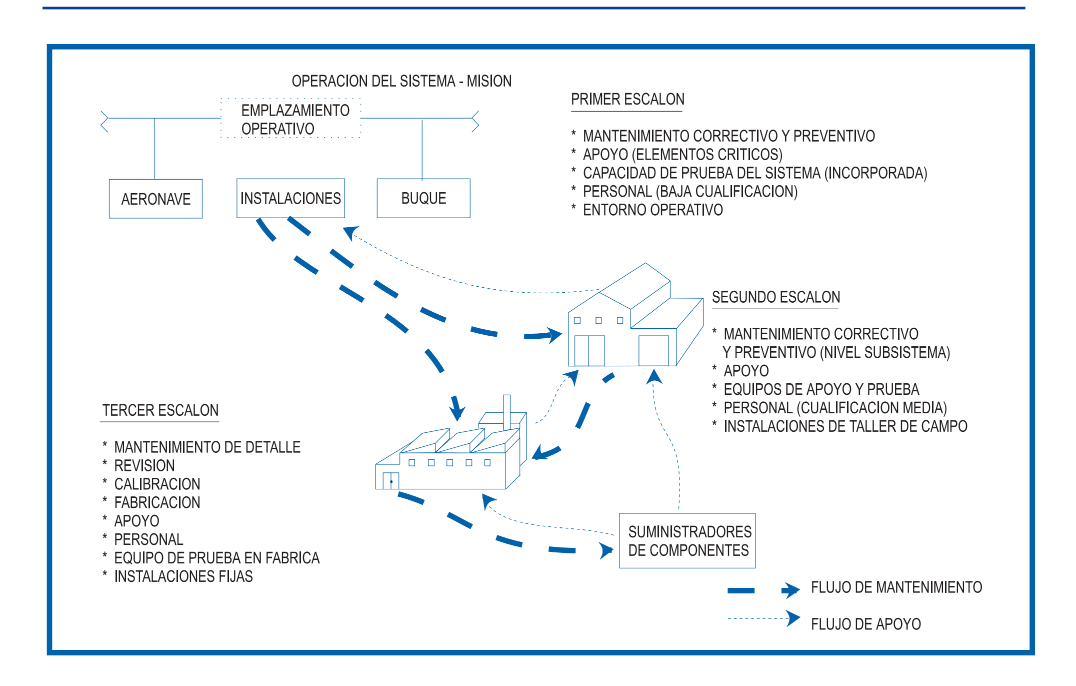


Figura 5. - OPERACIÓN DEL SISTEMA Y FLUJO DE MANTENIMIENTO -

ser diseñado el sistema para que sea sostenible. El concepto de mantenimiento, desarrollado como parte del proceso de diseño conceptual, incluye la identificación de los niveles de mantenimiento (dos, tres o más niveles en los que debe realizarse el mantenimiento), la asignación de las responsabilidades del mantenimiento (por ejemplo, usuario, suministrador, u otra parte o combinaciones de los mismos), los factores de efectividad («métricas») asociados con los diversos elementos de apoyo, criterios de diseño relativos a la infraestructura de apoyo, etc. Analizaremos estas áreas de actividad en la Sección 3.1.

El concepto de mantenimiento del sistema proporciona una línea de referencia para la definición de los requisitos logísticos, es decir, el diseño de los principales componentes relacionados con la misión de soportabilidad, y el diseño de la infraestructura de apoyo. Esta línea se amplía a través del análisis funcional (esto es, la identificación de las funciones de mantenimiento), la asignación de requisitos, realización del análisis de apoyo logístico, etc.

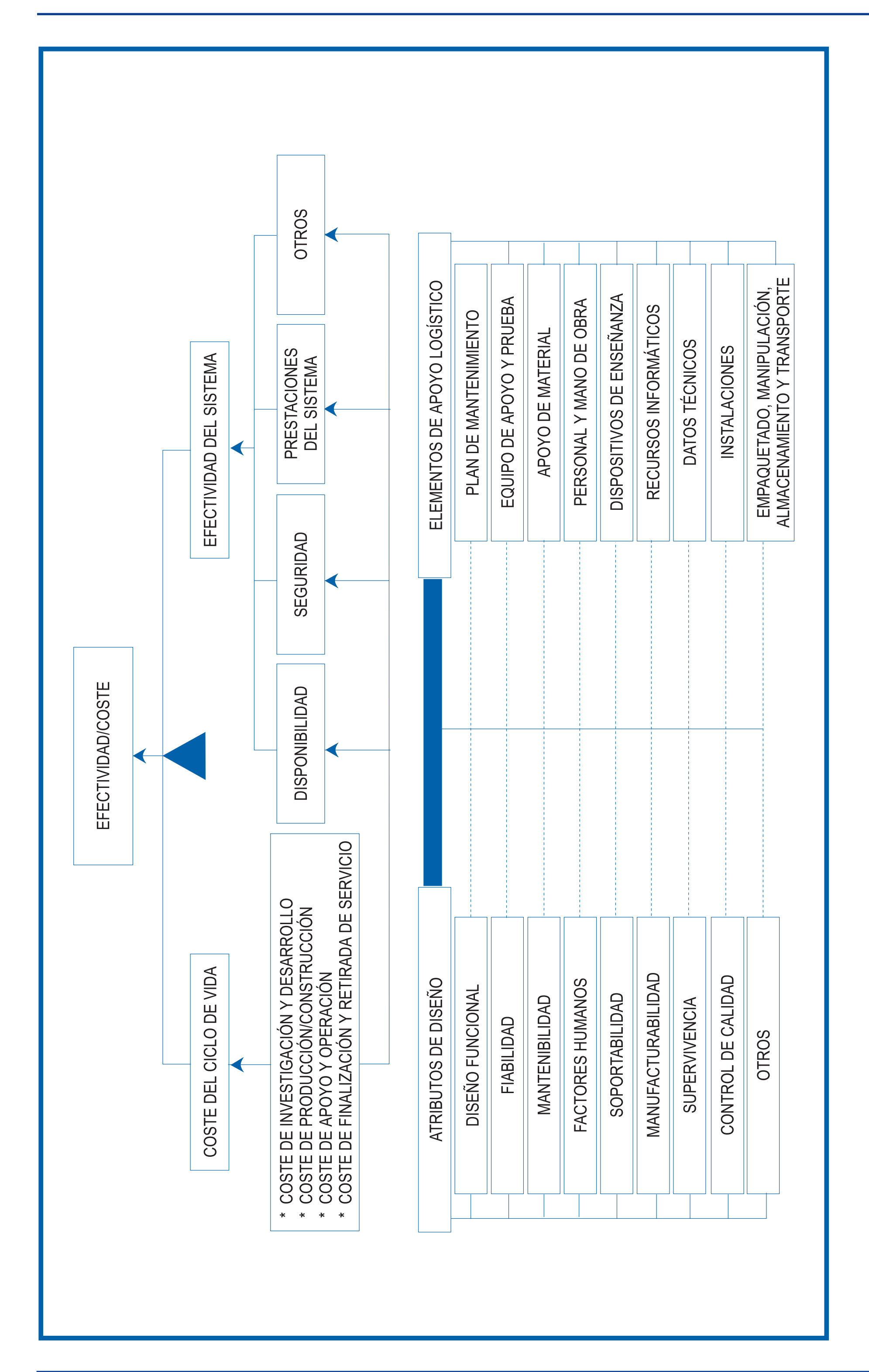
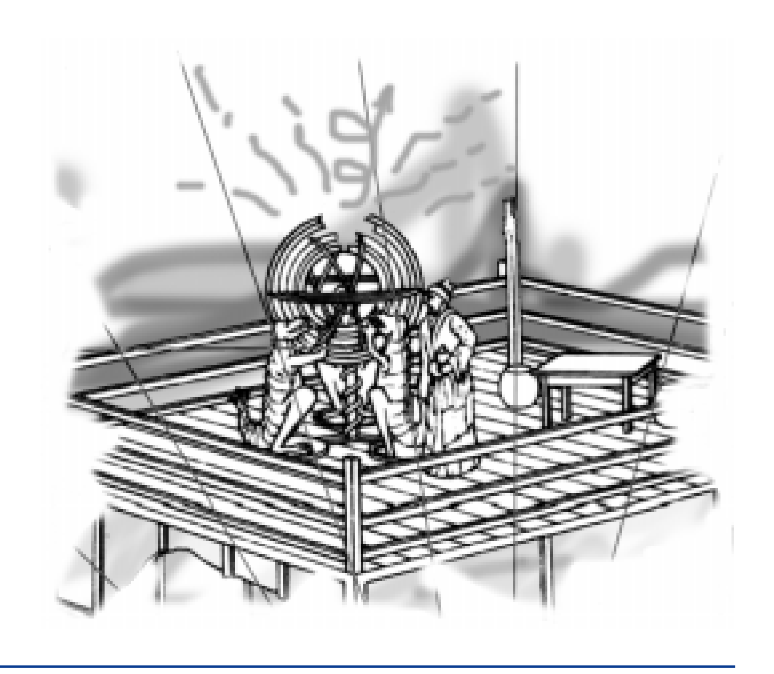


Figura 6. - RELACIONES DE EFECTIVIDAD -

En cualquier caso, los dos principales elementos del sistema y la infraestructura de apoyo deben contemplarse de forma integrada en todos sus aspectos, ya que el diseño de los elementos principales del sistema tendrá un impacto considerable sobre las estructuras de apoyo, y los elementos logísticos tendrán el efecto de realimentar los elementos principales. La Figura 6 muestra estas interrelaciones. Además, la red entera (ver Figura 5) debe considerarse como un todo, ya que la efectividad del apoyo proporcionado al nivel de mantenimiento organizativo depende de los recursos proporcionados al nivel intermedio, el cual, a su vez, depende de los recursos proporcionados al nivel de fabricante. Existe una tendencia generalizada a tratar solamente estos aspectos a nivel organizativo, sin considerar el impacto que puedan tener en los otros niveles, lo cual puede resultar bastante costoso. Por tanto, no sólo es necesario definir los requisitos logísticos específicos sino también examinar las interfaces entre los principales equipos/software y los elementos de apoyo en el marco de la infraestructura global de apoyo ilustrada en la Figura 5.

2

Planificación de la logística



La planificación de la logística comienza con la concepción del programa, al identificar por primera vez una necesidad del consumidor. Teniendo en cuenta la definición de la necesidad, de acuerdo con la Figura 7, es preciso: (a) identificar varias maneras de enfocar el diseño a nivel de sistema que nos permitan satisfacer los requisitos; (b) evaluar los candidatos más probables en términos de prestaciones, efectividad, coste de ciclo de vida y criterios relacionados; y (c) recomendar el procedimiento preferido. Puede que existan muchas

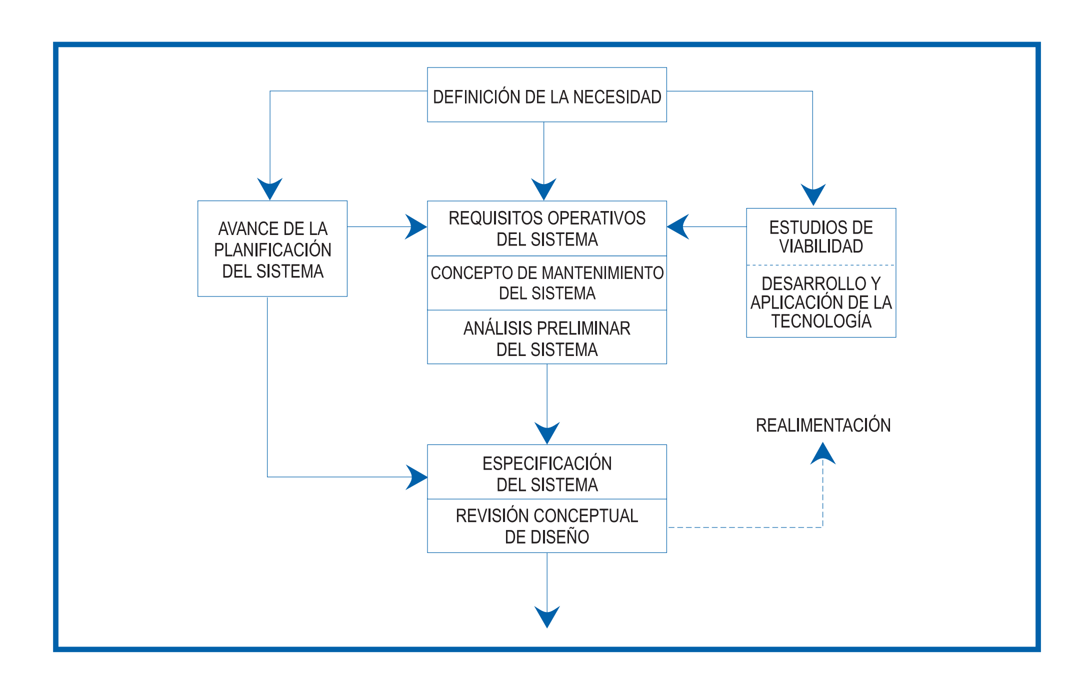


Figura 7. - PROCESO DE DEFINICIÓN DE LOS REQUISITOS DEL SISTEMA -

alternativas; sin embargo, el número de posibilidades debe ser reducido a unas pocas opciones viables, de acuerdo con los recursos disponibles (humanos, materiales y financieros).

Es durante la realización de los estudios iniciales de viabilidad en la fase de diseño conceptual cuando los requisitos de apoyo logístico se definen inicialmente. A medida que el ingeniero responsable del diseño vaya identificando soluciones técnicas alternativas al problema en mano, las tecnologías contempladas han de evaluarse no sólo en base a las características de sus prestaciones, sino también en términos de fiabilidad, mantenibilidad, factores humanos, soportabilidad, capacidad de producción, coste del ciclo de vida, etc. La realización de este tipo de evaluación requiere una definición inicial de la infraestructura de apoyo; es decir, el entorno del usuario final en el que el sistema va a ser utilizado y mantenido. Esto, a su vez constituye el primer paso en el desarrollo de los requisitos operativos del sistema y el concepto de mantenimiento.

La Figura 8 describe el ciclo de vida del sistema e identifica las fases básicas del programa, las actividades realizadas durante cada fase, principales hitos y funciones logísticas primarias. Esta figura es una extensión de la Figura 7 de la primera monografía de esta serie, que refleja el ciclo de vida y las principales actividades de ingeniería de sistemas. Las actividades logísticas se dividen en: planificación, requisitos, diseño, adquisición, apoyo continuado y evaluación. Estas actividades se definen con mayor detalle en la Figura 9. Las actividades de ingeniería logística incluyen básicamente la definición de requisitos, el diseño en cuanto a soportabilidad, la adquisición en lo que se refiere al análisis de apoyo logístico y asesoramiento.

Respecto a la Figura 8, los hitos claves incluyen el desarrollo del sistema de especialización tipo «A», el Plan de Gestión de Ingeniería del Sistema (System Engineering Management Plan, SEMP) y el Plan de Apoyo Logístico Integrado (Integrated Logistic Support Plan, ILSP). La especificación del sistema incluye todos los

Figura 8,9 en solapa

requisitos técnicos para el diseño del sistema (es decir, el concepto de mantenimiento, criterios de diseño para los elementos orientados a la misión del sistema y pautas de diseño para la infraestructura de apoyo).

El SEMP abarca todas las actividades de gestión de ingeniería de sistemas, fomenta la integración de todas las actividades relacionadas con el diseño (para inducir soportabilidad e ingeniería logística) identifica las principales interfaces con otros planes clave de programas de mayor nivel (para incluir el ILSP, plan de gestión de configuración, plan de gestión de datos, plan de fabricación, etc.) y proporciona la integración de los planes individuales de diseño orientado a la disciplina (plan de programa de fiabilidad, plan de programa de mantenibilidad, plan de programa de factores humanos, plan de programa de seguridad, plan de ingeniería de software, etc).

El ILSP, que abarca todas las actividades de ingeniería logística y de gestión, debe desarrollarse inicialmente durante la fase de diseño conceptual, y debe ser actualizado cuando sea necesario, en las fases subsiguientes, a medida que el sistema se define mejor. En las primeras etapas, el contenido del ILSP debe centrarse en los requisitos logísticos y funciones de ingeniería logística. La Figura 10 muestra un método que conduce al desarrollo del ILSP durante el diseño conceptual [17].

A medida que vaya evolucionando el programa, el ILSP debe ser actualizado y «hecho a medida» para que refleje la configuración del sistema en desarrollo, y para proporcionar información adecuada sobre la planificación y gestión, que no sólo incluya la adquisición de requisitos de apoyo logístico, sino que también proyecte estos requisitos en el marco de la infraestructura general de apoyo. La Figura 11 muestra un ejemplo del posible contenido de un ILSP típico. Conviene señalar que la documentación específica de planificación puede variar en cuanto a terminología de programa a programa, según se refiere a un plan elaborado por un cliente o a un plan elaborado

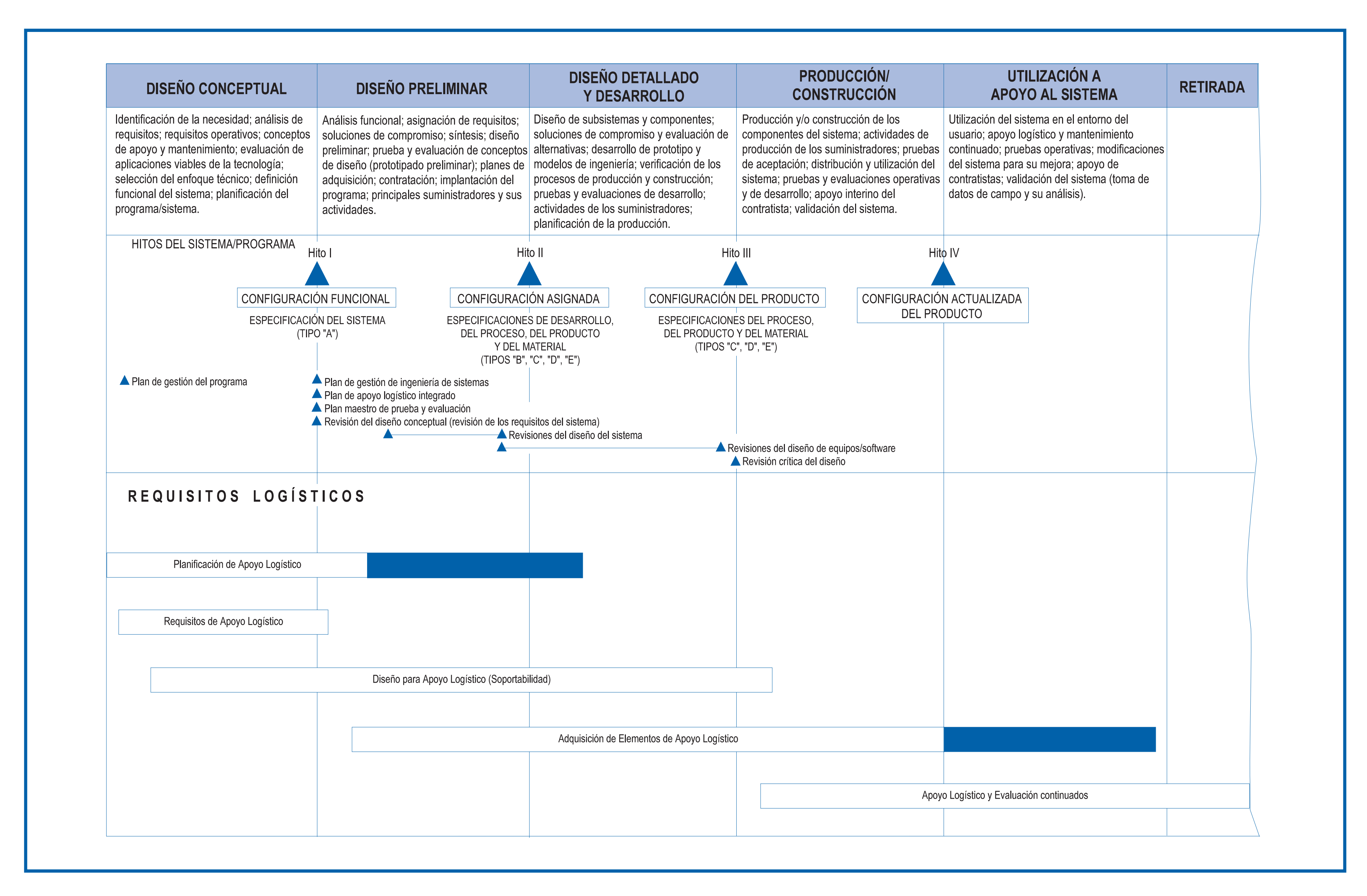


Figura 8. - REQUISITOS LOGÍSTICOS EN EL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA -

DISEÑO CONCEPTUAL	DISEÑO PRELIMINAR	DISEÑO DETALLADO Y DESARROLLO	PRODUCCIÓN/ CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y APOYO DEL SISTEMA	RETIRADA DEL SISTEMA
* Planificación y gestión logística iniciales - plan preliminar de apoyo logístico integrado	* Planificación y gestión logística - plan de apoyo logístico integrado	* Planificación y gestión logística (requisitos de fabricación y del usuario)	* Planificación y gestión logística	* Planificación y gestión logística (requisitos del cliente)	* Planificación y gestión logística
* Análisis de requisitos (estudio de necesidades del usuario)	* Análisis funcional	* Actividades de participación en el diseño y de apoyo	* Fabricación, adquisición y/o construcción de elementos principales del sistema (flujo de materiales, control del inventario, transporte, distribución)	* Mantener y apoyar el sistema en emplazamientos operativos de campo (actividades del usuario)	* Retirada progresiva, reciclaje y/o desecho de materiales
* Análisis de viabilidad (oportunidades técnicas)	* Asignación de requisitos	* Análisis de apoyo logístico (compensaciones de diseño, análisis, predicciones, definición de los requisitos de apoyo del sistema	* Fabricación, adquisición y/o contrucción de elementos de apoyo del sistema (flujo de materiales, control del inventario, transporte, distribución)	* Servicio al cliente (servicios y materiales proporcionados por el fabricante)	* Elementos de apoyo logístico, según sea necesario
* Requisitos operativos del sistema	* Actividades de participación en el diseño y apoyo	* Registro de análisis de apoyo logístico (datos logísticos/de diseño)	* Modificación del sistema según sea necesario	* Capacidad de recogida de datos, análisis, evaluación y realimentación (actualizar registro de análisis de apoyo logístico según sea necesario)	* Capacidad de recogida, análisis y realimentación de datos
* Concepto de mantenimiento del sistema	* Análisis de apoyo logístico (compromisos de diseño, análisis, predicciones, definición de los requisitos de apoyo al sistema)	* Especificaciones de desarrollo, de producto, de proceso y de material (Tipos "B", "C", "D", "E")	* Registro de análisis de apoyo logístico (revisión de datos logísticos - evaluación de soportabilidad)	* Modificaciones del sistema	
* Análisis funcional (nivel de sistema)	* Registro de análisis de apoyo logístico (datos logísticos/de diseño)	* Aprovisionamiento, obtención y adquisición de elementos de apoyo del sistema	* Prueba y evaluación del sistema		
* Análisis de apoyo logístico (criterios de diseño)	* Especificaciones de desarrollo, de producto, de proceso (Tipos "B", "C", "D")	* Prueba y evaluación del sistema	* Servicio al cliente (instalación en su ubicación operativa, verificación, servicios de campo, y apoyo)		
* Especificación del sistema (Tipo "A")	* Prueba de desarrollo y evaluación de componentes del sistema	* Equipos/software y revisiones críticas del diseño			
* Revisión de diseño conceptual (línea base funcional)	* Revisiones del diseño del sistema (línea base asignada)				

Figura 9. - ACTIVIDADES DEL PROGRAMA LOGÍSTICO -

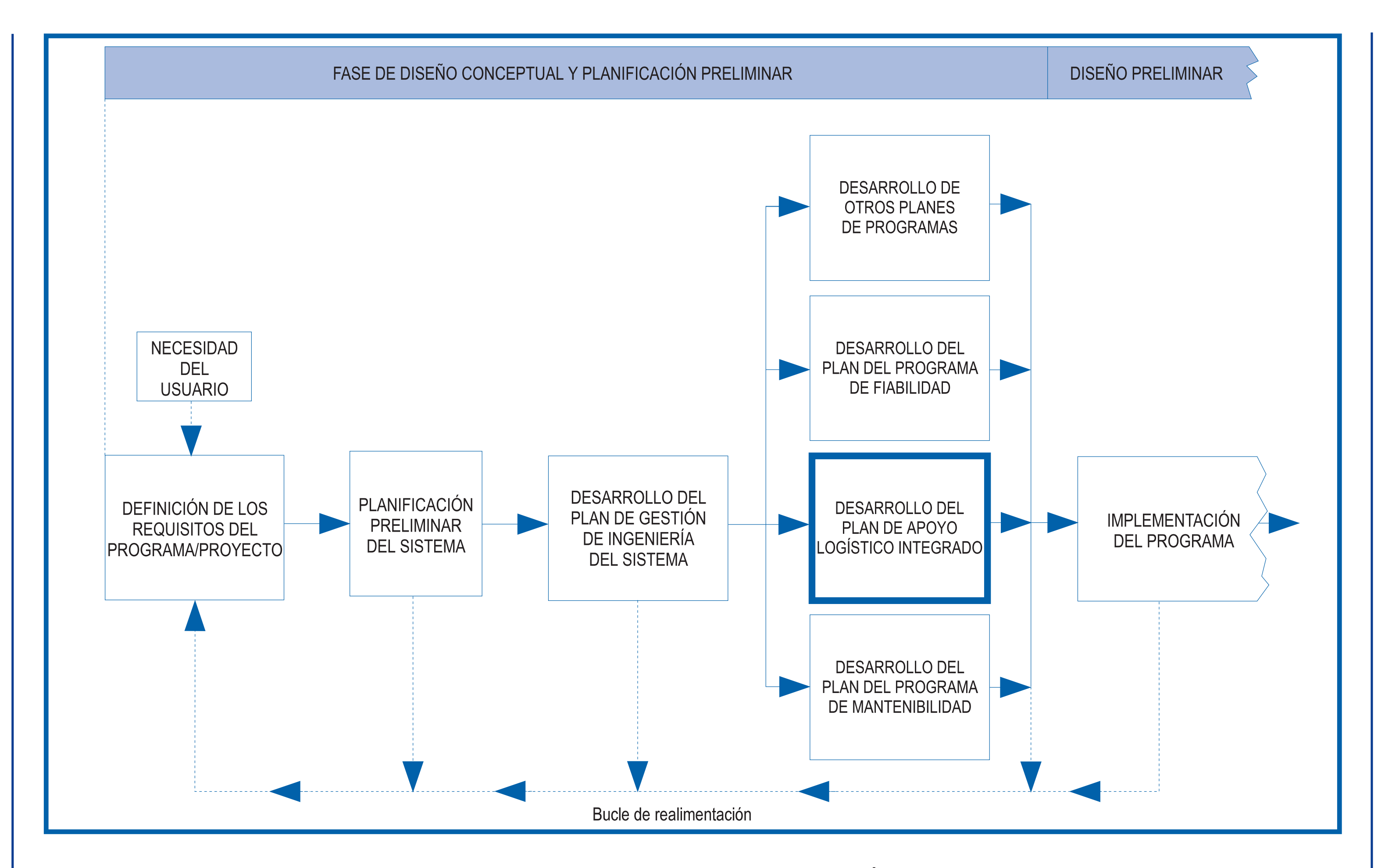


Figura 10 - EL PROCESO INICIAL DE PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA -

PLAN DE APOYO LOGÍSTICO INTEGRADO (ILSP)

1.0 Introducción

- 1.1 Objetivo y alcance
- 1.2 Descripción del sistema y antecedentes
- 1.3 Estrategia de adquisición de logística
- 1.4 Referencias y especificaciones

2.0 Características del sistema

- 2.1 Requisitos operativos del sistema
- 2.2 Concepto de mantenimiento del sistema
- 2.3 Análisis funcional y asignación
- 2.4 Resultados de investigación logística
- 2.5 Estudios de viabilidad
- 2.6 Otros requisitos

3.0 Planificación y gestión de ILS

- 3.1 Requisitos del programa
- 3.2 Estructura organizativa del ILS
- 3.3 Organización(es) proveedor/contratista
- 3.4 Interfaces organizativas
- 3.5 Estructura de descomposición de trabajo
- 3.6 Calendarios de tareas e hitos principales
- 3.7 Proyecciones de costes
- 3.8 Revisión, evaluación y control del programa
- 3.9 Comunicaciones técnicas (informes y documentación)
- 3.10 Gestión de riesgos

4.0 Planes de elementos de ILS

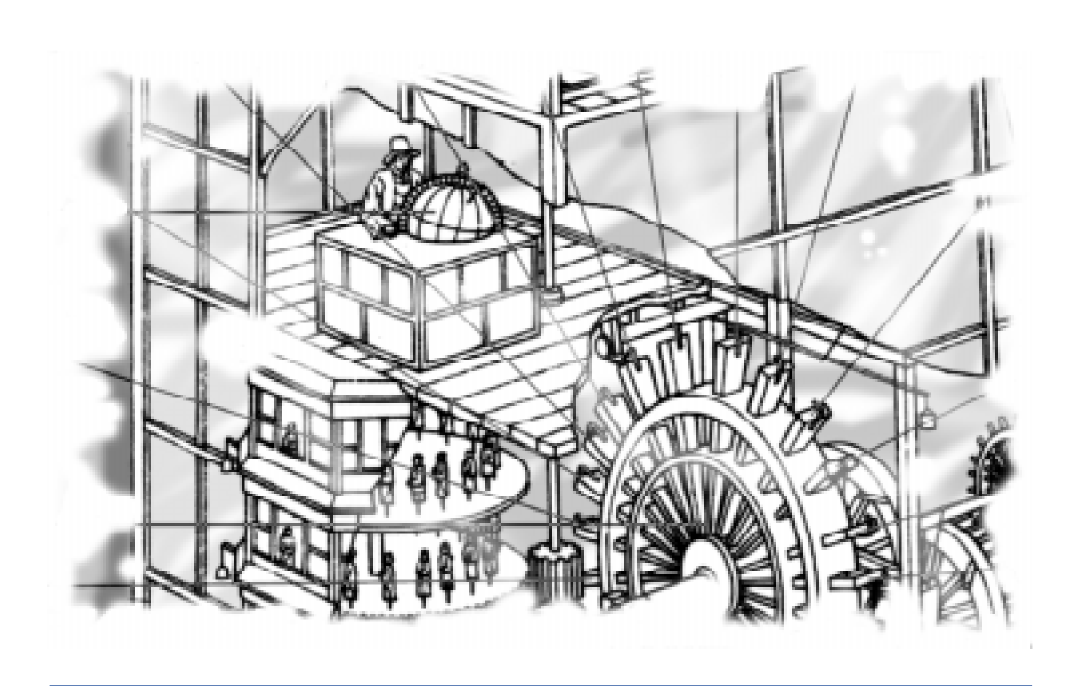
- 4.1 Plan de análisis de apoyo logístico
- 4.2 Plan de fiabilidad y mantenibilidad
- 4.3 Plan de apoyo de suministros
- 4.4 Plan de prueba y apoyo
- 4.5 Plan de personal y formación
- 4.6 Plan de datos técnicos
- 4.7 Plan de embalaje, manejo, almacenamiento y transporte
- 4.8 Plan de instalaciones
- 4.9 Plan de recursos informáticos
- 4.10 Plan de distribución y apoyo informático
- 4.11 Plan de apoyo post-producción
- 4.12 Plan de apoyo de retirada del sistema

Figura 11. - FORMATO DEL PLAN DE APOYO LOGÍSTICO INTEGRADO (EJEMPLO) -

por un contratista. Sin embargo, para simplificar, el ILSP al que se refiere la presente monografía será el plan general de logística. Este servirá de base, y hablaremos de varios elementos de este plan a lo largo de esta monografía.

3

La logística en el ciclo de vida del sistema



Los objetivos básicos de esta monografía son dos: (a) diseñar los principales elementos relacionados con la misión, de manera que puedan recibir apoyo efectivo y eficaz a lo largo de su ciclo de vida proyectado; y (b) diseñar la infraestructura de apoyo del sistema para que facilite la consecución del primer objetivo. La Figura 4 identifica los elementos básicos de apoyo y la Figura 5 proyecta estos elementos en el entorno de una infraestructura parcial.

Las actividades logísticas propuestas, resumidas en la Figura 8 y tratadas en detalle en la Figura 9, constituyen las tareas principales aplicables al alcance de estos objetivos para cualquier tipo de sistema. No obstante, la aplicación específica de estas tareas debe ser elaborada «a medida» para el sistema en desarrollo y para el proceso de adquisición implementado para ese sistema. La experiencia demuestra que, en muchos casos, las funciones logísticas han desembocado en la creación de mucha actividad demasiado tarde en el proceso de adquisición, la elaboración de mucha documentación con poca utilidad práctica y los resultados han sido caros. Se cree que esto se debe, en gran parte, a una falta de comprensión de las tareas en curso en términos de su intención y producción deseada; y, en segundo lugar, a que estas tareas no han sido adaptadas al nivel de definición del sistema, a medida que el proceso de desarrollo evoluciona desde una necesidad del usuario identificada a una configuración definida. Un buen ejemplo de esto es la aplicación del LSA y el intento de producir mucha documentación (por ejemplo, LSAR) sin tener en cuenta el PROCESO que ha de aplicarse al desarrollo de los datos de entrada

requeridos para el LSAR. Por lo tanto, es esencial conocer el proceso de ingeniería de sistemas y saber como encaja la ingeniería logística dentro de este proceso.

En la Figura 9, las funciones clave de la ingeniería logística incluyen la definición de los requisitos de la logística (es decir, análisis de requisitos, estudio de viabilidad, requisitos operativos del sistema, el concepto de mantenimiento, análisis y asignación de funciones, y la especificación del sistema tipo «A»), realización del análisis de apoyo logístico, participación e integración del diseño y pruebas y valoración. Estas actividades serán examinadas en esta sección, utilizando la Figura 12 como referencia.

3.1. Requisitos de apoyo logístico

Los requisitos se derivan de una necesidad identificada del usuario. Es preciso realizar un «análisis de necesidades» en el momento de iniciar el programa si queremos establecer una base sólida para la definición de requisitos de soportabilidad. Las expectativas de los clientes en términos de disponibilidad, reparabilidad y utilidad del sistema, los niveles previstos de mantenimiento, el servicio al cliente, el coste del ciclo de vida, etc., deben identificarse desde el principio. Es en este momento, al principio del diseño conceptual, cuando hay que comenzar a identificar las funciones logísticas apropiadas que deben realizarse. Esta información, complementada por la definición de los requisitos operativos del sistema y el concepto de mantenimiento, nos llevan al desarrollo y jerarquización de las esenciales «medidas de prestaciones técnicas» (technical performance measures, TPM). Estas TPM constituyen la base para la definición de los criterios adecuados de diseño de soportabilidad. Así, mientras el proceso global de definición de requisitos se compone de diferentes actividades, las «comunicaciones» con el usuario en una fase inicial son de máxima importancia. Puede que esto parezca obvio; sin embargo, el usuario no ha participado siempre desde el principio y la falta de buenas

comunicaciones ha resultado con frecuencia en el desarrollo de un producto que no responde a sus necesidades, en particular con respecto a la soportabilidad del sistema durante, en el ciclo de vida (ver Figura 3). Se puede facilitar la promoción de las comunicaciones necesarias con el usuario mediante la aplicación de técnicas como «despliegue de función de calidad» (Quality Function Deployment, QFD) o equivalente.

Una vez que hayamos definido una necesidad, es necesario: (a) identificar varios métodos posibles de diseño de nivel de sistema que puedan desarrollarse para cumplir los requisitos; (b) evaluar las alternativas más probables en términos de sus prestaciones, efectividad, soportabilidad y criterios económicos; y (c) recomendar la forma preferida de actuar. Puede que existan muchas alternativas; sin embargo, hemos de reducir el número de posibilidades a unas pocas opciones viables, de acuerdo con los recursos disponibles.

Al considerar las distintas opciones de diseño, debemos investigar aplicaciones tecnológicas alternativas como parte del análisis de viabilidad (ver Figura 9). Por ejemplo, en el diseño de un sistema de comunicaciones, ¿se debe utilizar tecnología de fibra óptica o tecnología convencional de cable? En el diseño de un avión, ¿en qué medida pueden emplearse materiales compuestos? Al diseñar un automóvil ¿deben emplearse circuitos electrónicos de gran rapidez en funciones de control o debemos inclinarnos por un enfoque electromecánico convencional? En el diseño de un proceso ¿en qué medida debemos incorporar recursos informáticas integrados, o la inteligencia artificial? Para la realización de determinadas funciones ¿debemos contemplar un método automático o debemos utilizar recursos humanos?

Es durante esta etapa inicial del ciclo de vida (es decir, en el diseño conceptual) cuando se toman las decisiones importantes respecto a la adopción de una aplicación tecnológica específica, y es en este período cuando los resultados de dichas decisiones pueden tener el máximo impacto en el coste final del ciclo de vida de un sistema

(como demuestra la Figura 2). Las aplicaciones tecnológicas se evalúan y en algunos casos, cuando no se dispone de datos suficientes, se inician investigaciones con el fin de desarrollar nuevos métodos/técnicas para aplicaciones específicas.

Los resultados de un análisis de viabilidad tendrán un impacto considerable no sólo en las características operativas del sistema, sino en la manufacturabilidad, soportabilidad, disponibilidad y otras características adicionales. La elección (y aplicación) de determinada tecnología conlleva una implicación de fiabilidad y mantenibilidad, puede afectar a los requisitos de fabricación, puede influir de forma significativa en los requisitos de los equipos de prueba y piezas de repuesto, e influirá con toda probabilidad en el coste del ciclo de vida. Dado que las decisiones relativas a la selección de una tecnología determinada, un proceso, etc., tienen consecuencias para el ciclo de vida, es imprescindible la aplicación de métodos de cálculo del coste del ciclo de vida en el proceso de evaluación. En cualquier caso, es fundamental la inclusión de consideraciones logísticas en esta fase del proceso de adquisición.

3.1.1. Definición de los requisitos operativos del sistema

Como muestra la Figura 12, una de las primeras tareas a realizar en el proceso de desarrollo de sistemas es la definición de los requisitos operativos. Estos requisitos incluyen las siguientes consideraciones:

A) **Distribución o despliegue operativo**. Se define como el número de emplazamientos donde se utilizará el sistema, los plazos y la distribución geográfica, y el tipo y cantidad de componentes del sistema en cada emplazamiento. Esta es la respuesta a la pregunta ¿dónde ha de utilizarse el sistema?

Desde el punto de vista logístico necesitamos saber dónde es probable que se utilice el sistema para identificar el número, ubicación

y capacidad de las instalaciones de mantenimiento y apoyo; es decir, la infraestructura de apoyo. El diseño del sistema, el equipo de empaquetado, el software, los dispositivos para diagnóstico y accesibilidad, etc., pueden ser de una forma determinada si el sistema va a ser utilizado en un único emplazamiento. Por el contrario, si se preveen muchos emplazamientos, la configuración resultante del diseño puede ser distinta. Por otra parte, el número y ubicación de los emplazamientos potenciales condiciona el establecimiento de los requisitos ambientales del diseño. Aunque estas consideraciones se han tenido en cuenta en el pasado, el método de trabajo empleado solía ser diseñar el producto primero y preocuparse posteriormente de dónde podía utilizarse. Esto puede costar caro, si las modificaciones para adecuar el producto a las necesidades del consumidor se hacen a lo largo de la vida útil.

B) **Perfil o escenario de la misión**. Se define como la identificación de la misión principal del sistema y sus misiones alternativas o secundarias. ¿Qué función ha de desempeñar el sistema para satisfacer una necesidad del consumidor y cómo ha de utilizarse? Esto puede definirse por medio de una serie de perfiles operativos, ciclos de tareas, secuencias activas y pasivas, etc., que reflejen los aspectos dinámicos necesarios para llevar a cabo una misión.

Desde el punto de vista logístico, necesitamos saber exactamente cómo va a utilizarse el sistema y las probables solicitaciones que va a experimentar (tanto internas como externas) para que resulte adecuado en términos de fiabilidad y mantenibilidad. A pesar de que el sistema probablemente sea utilizado de forma distinta por cada operador, debemos realizar unos supuestos subyacentes al establecer un perfil del peor de los casos. En muchas ocasiones, la Especificación del Sistema Tipo «A» es muy general y no abarca las cuestiones «dinámicas»; se inicia el diseño; se desarrolla y se prueba un prototipo; y el producto resultante no satisface las expectativas del usuario en cuanto a efectividad y coste del ciclo de vida. En otras palabras, se han supuesto desde el principio unos perfiles operativos equivocados.

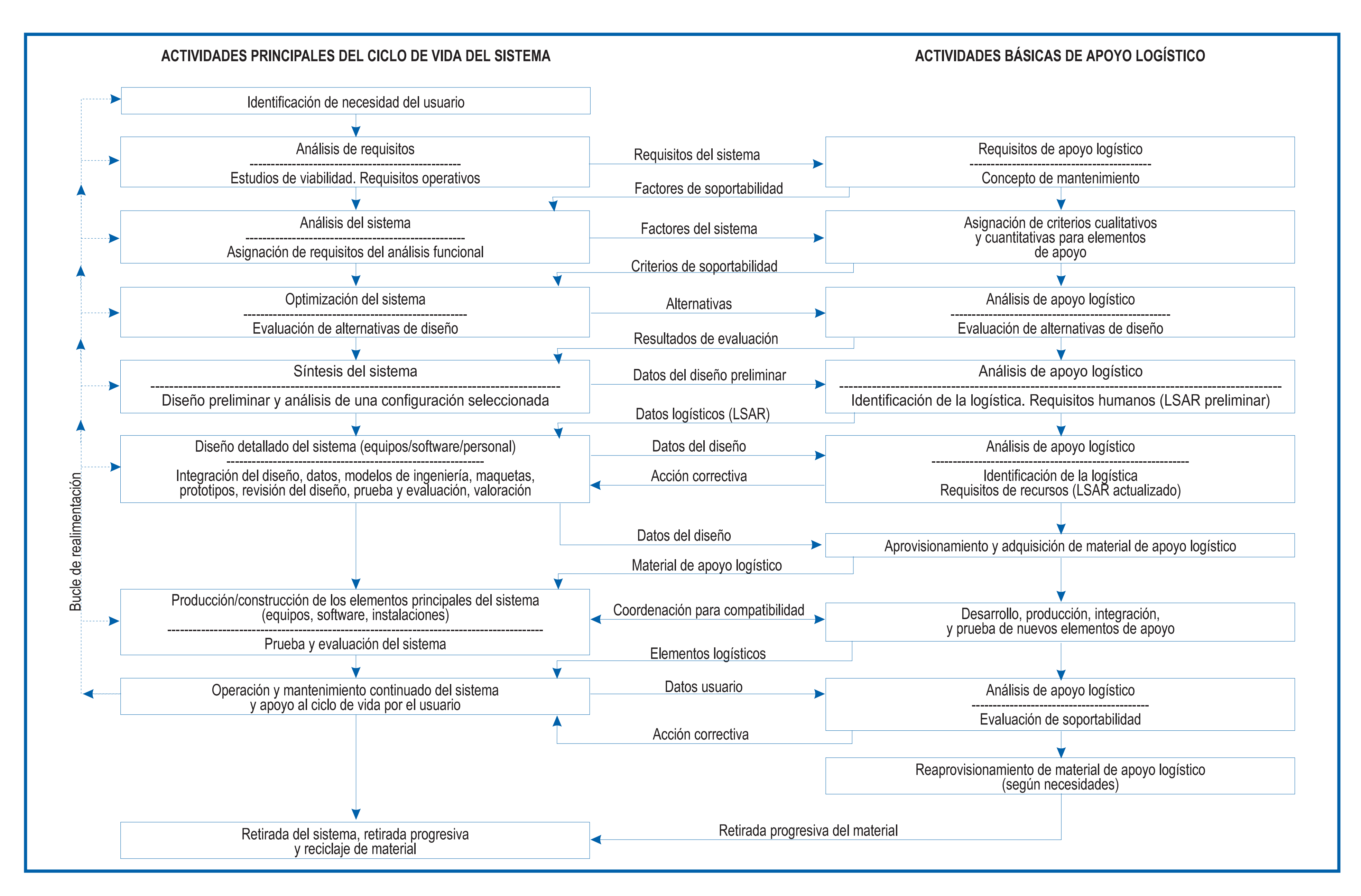


Figura 12 - LOGÍSTICA DEL PROCESO DE DESARROLLO DEL SISTEMA -

C) **Requisitos de prestaciones y efectividad**. Definición de las características principales de las prestaciones o funciones del sistema. Esto se refiere a parámetros como autonomía, precisión, rapidez, capacidad, procesamiento, potencia, tamaño, peso y factores técnicos relacionados que son esenciales para el cumplimiento de la misión propuesta del sistema en los distintos emplazamientos. Además, es necesario definir las características apropiadas de efectividad que puedan estar relacionadas con los factores de prestaciones, y aplicadas al perfil de misión aplicable o escenario operativo. Tales características pueden incluir disponibilidad (A), fiabilidad (R, MTBF, λ) mantenibilidad (MTBM, Mct, MDT, MMH/OH), seguridad de misión (D), utilización de instalaciones (%), efectividad organizativa, niveles de especialización de personal, coste, etc, según sean aplicables. El objetivo es poder aplicar la métrica correcta a un determinado perfil operativo. ¿Cuál es la relación entre un alto grado de fiabilidad y los distintos parámetros de prestaciones necesarios para cumplir un requisito específico de la misión? Desde el punto de vista logístico, las diferentes medidas de efectividad condicionan no sólo la frecuencia de mantenimiento, sino los recursos logísticos que probablemente sean precisos para realizarlo (por ejemplo: piezas de recambio y repuesto, equipos de prueba, personal de mantenimiento, instalaciones, transporte, datos y recursos informáticos). Estos factores, a su vez, ayudan a determinar los niveles de mantenimiento, rutinas de diagnóstico y empaquetado de equipos y software, y características relacionadas del diseño.

D) **Ciclo de vida operativo (horizonte)**. Es la duración estimada del período de utilización operativa del sistema (y de sus elementos). ¿Durante cuánto tiempo seguirá utilizando el usuario el sistema? ¿Cuál es el perfil total del inventario necesario para el sistema y sus componentes? Mientras que las condiciones pueden cambiar (debido a un cambio de las amenazas, obsolescencia inminente, el deseo de tecnología nueva, etc.), es necesario establecer una línea de referencia desde el principio.

Desde el punto de vista logístico, la especificación de un ciclo de vida designado es fundamental no sólo respecto al diseño de los principales elementos relacionados con la misión del sistema para soportabilidad, sino para el diseño de la infraestructura de apoyo para un período específico. Estos requisitos individuales de diseño pueden variar de forma significativa si se trata de un ciclo de vida previsto de 1 año, de 10 años o de 20 años. En el pasado, se utilizaba con frecuencia el método de diseñar un producto sin tener en cuenta desde el principio su ciclo de vida, y luego exigir que fuera soportable durante un período largo de tiempo. Este método suele resultar en la realización de una serie de modificaciones a lo largo del ciclo de vida del producto, lo que con frecuencia resulta en costes significativos.

E) **Entorno**. Definición del entorno en el que el sistema ha de operar de forma efectiva (por ejemplo, temperatura, choques y vibraciones, ruido, humedad, condiciones árticas o tropicales, terreno llano o montañoso, condiciones aerotransportadas, terrestres y marinos). Los factores ambientales pueden desarrollarse mediante la definición de un conjunto de perfiles de misión o emplazamientos operativos. Además, también debemos considerar el entorno al que el sistema (y sus componentes) está expuesto durante el transporte, manipulación y almacenamiento. Es posible que los componentes del sistema estén expuestos a un entorno más riguroso durante el transporte que durante su funcionamiento.

Desde el punto de vista logístico, los requisitos ambientales del funcionamiento del sistema pueden tener un impacto en varias áreas. En primer lugar, aunque el sistema debe estar diseñado para operar en entorno específico, puede ocurrir en ocasiones que los efectos externos del medio ambiente influyan en la frecuencia del mantenimiento y la necesidad de gastar recursos logísticos. En segundo lugar, en zonas donde el medio ambiente externo es especialmente duro, puede resultar necesario diseñar un nuevo elemento logístico (por ejemplo, el diseño de un contenedor especial para el transporte). En tercer lugar, el medio ambiente en el que va a operar el sistema condiciona

(hasta cierto punto) el entorno en el que va a realizarse el mantenimiento, en particular aquellas funciones llevadas a cabo en primer escalón.

El establecimiento de los requisitos operativos constituye la base del diseño del sistema. Necesitamos, claramente, contestar las siguientes preguntas antes de proseguir:

a.- ¿Cuáles serán las funciones del sistema?
b.- ¿Cuándo tendrá que desarrollar la función prevista y durante cuánto tiempo?
c.- ¿Dónde se utilizará el sistema?
d.- ¿Cómo alcanzará el sistema sus objetivos?

La respuesta a estas preguntas debe establecer una línea de referencia. Aunque las condiciones puedan cambiar, es necesario establecer unos supuestos iniciales. Puede parecer a veces que no existe suficiente información para responder a algunas de estas preguntas prioritarias, y por consiguiente los requisitos operativos no estarán muy bien definidos. Al mismo tiempo, los ingenieros responsables del diseño están diseñando el producto sin que todos sigan las mismas especificaciones. Es importante entonces abordar cada una de las áreas, establecer unos criterios para el diseño (documentando todos los supuestos), y poner en marcha un método para la gestión efectiva de la configuración a partir de ese momento.

Una vez establecidos unos buenos criterios para los requisitos operativos, el siguiente paso consiste en desarrollar el concepto de mantenimiento del sistema. Como demuestra la Figura 12, el concepto de mantenimiento representa una actividad clave en la definición de las actividades logísticas.

3.1.2. Desarrollo del concepto de mantenimiento y apoyo

El concepto de mantenimiento se desarrolla a partir de la definición de los requisitos operativos del sistema descritos en la

Sección 3.1.3, e incluye las actividades reflejadas en la Figura 5. Constituye una serie de ilustraciones y aseveraciones sobre cómo debe ser diseñado el sistema para soportabilidad, mientras que el «plan de mantenimiento» define los sucesivos requisitos basados en los resultados del análisis de apoyo logístico o estudios similares [2]. El concepto de mantenimiento, que se plasma finalmente en un plan detallado de mantenimiento, cubre básicamente los niveles de mantenimiento, políticas de reparación, responsabilidades, criterios para el diseño relativos a los elementos logísticos, factores de efectividad aplicados a la infraestructura global de apoyo, y factores ambientales.

A) **Niveles de mantenimiento**. Se refieren a la división de funciones y tareas para cada área de mantenimiento. La Figura 13 muestra el flujo de de actividades y materiales, donde las actividades de mantenimiento están representadas por el flujo desde el emplazamiento de utilización por el usuario hasta el último escalón de mantenimiento y el aprovisionamiento de recursos de apoyo logístico (por ejemplo, piezas de repuesto) está representado por el flujo desde el proveedor hasta el emplazamiento operativo.

Según las características y complejidad del sistema, la fiabilidad de sus componentes, la importancia crítica de artículos para el éxito de la misión, etc., pueden existir 2, 3 y hasta 4 niveles de mantenimiento; sin embargo, para simplificar, podemos clasificar el mantenimiento como «organizativo» (primer escalón), «intermedio» (segundo escalón) y «suministrador/almacén» (tercer escalón). La Figura 14 destaca las diferencias esenciales entre estos niveles. Se recomienda consultar algunas de las referencias que figuran en la Bibliografía.

Una forma habitual de enfocar la definición del concepto de mantenimiento es aceptar que la estructura existente es la más adecuada para un nuevo sistema (ya sean 2, 3 ó 4 los niveles de mantenimiento). A pesar de que este enfoque pueda parecer el más económico, es posible que nuestras prácticas adquiridas con los

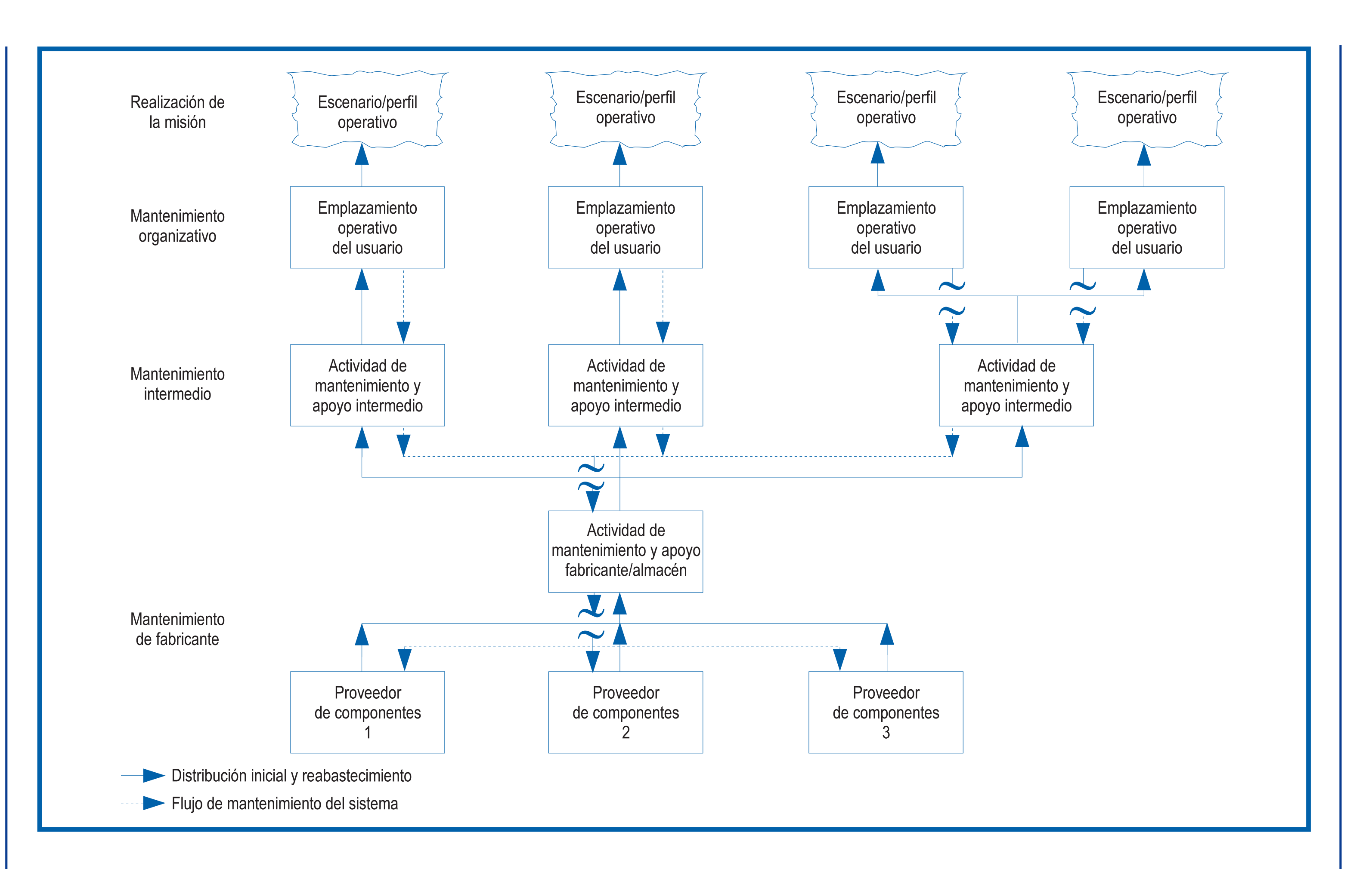


Figura 13. - FLUJO DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA -

CRITERIOS	PRIMER ESCALÓN	SEGUNDO ESCALÓN		TERCER ESCALÓN
¿Hecho en dónde?	En el emplazamiento operativo o donde esté localizado el equipo principal	Unidades móviles o semimóviles	Unidades fijas	Instalaciones industriales
		Camión, furgoneta, caseta portátil, o equivalente	Taller fijo de campo	Actividad especializada de reparación, o planta del fabricante
¿Hecho por quién?	Personal operativo del sistema/equipo (baja cualificación de mantenimiento)	Personal asignado a unidades fijas, móviles o semimóviles (cualificación intermedia de mantenimiento)		Personal de almacén o personal de producción (mezcla de cualificaciones de fabricación intermedia y alta de mantenimiento)
¿De quién es el equipo?	Uso del equipamiento de organización	Equipo en propiedad de la organización usuaria		
¿Tipo de trabajo realizado?	Inspección visual Comprobación operativa Mantenimiento menor Ajustes externos Reemplazo de elementos	Inspección detallada y comprobación del sistema Mantenimiento mayor Reparación y modificaciones de equipos principales Ajustes difíciles Calibración limitada Sobrecarga del primer escalón de mantenimiento		Ajustes difíciles en fábrica Reparación y modificaciones de equipos complejos Revisión y reconstrucción Calibración detallada Apoyo Sobrecarga del segundo escalón de mantenimiento

Figura 14. - PRINCIPALES NIVELES DE MANTENIMIENTO -

sistemas existentes no sean las más viables para el nuevo requisito. Por otra parte, los niveles pueden cambiar a medida que el sistema va evolucionando a lo largo de su ciclo de vida. Por tanto, es preciso reevaluar el concepto para cada nuevo requisito.

B) **Políticas de reparación**. Se refiere al alcance de las reparaciones del sistema y sus elementos. Dentro de las limitaciones descritas en las Figuras 13 y 14, pueden existir un número de políticas posibles que especifiquen el grado en que deben realizarse las reparaciones del sistema. Una política puede establecer que un artículo debe ser diseñado con el fin de ser no reparable, parcialmente reparable o totalmente reparable. Las opciones se evalúan según el método descrito en la Figura 15, y se deciden las políticas recomendadas. Se desarrollan los criterios de diseño, y avanza el diseño del sistema dentro de las pautas marcadas por la política de reparaciones elegida.

En la Figura 16 se da un ejemplo de una política de reparaciones para el sistema XYZ, desarrollada como parte del concepto de mantenimiento.

El desarrollo del concepto de mantenimiento depende de la identificación de los niveles de mantenimiento supuestos, y de las funciones primarias a desarrollar en cada nivel. El objetivo, en esta fase, es definir una base para establecer criterios de diseño en cuanto a soportabilidad y para diseñar la infraestuctura de apoyo. Los niveles de reparación asumidos influirán en los esquemas de empaquetado de equipos y software, el grado de diagnóstico requerido (sobre todo para componentes electrónicos), la accesibilidad y las provisiones para el etiquetado que deben incorporarse en el caso de artículos reparables, etc. Aunque las condiciones pueden cambiar a medida que se desarrolla la definición del sistema, hay que establecer una base para el diseño conceptual. Este objetivo puede ser facilitado mediante la realización de los análisis de coste del ciclo de vida (Life-Cycle Cost, LCC) y de nivel de reparación (Level of Repair, LOR). En el pasado, estas herramientas se han empleado a lo largo del ciclo de vida (sobre todo

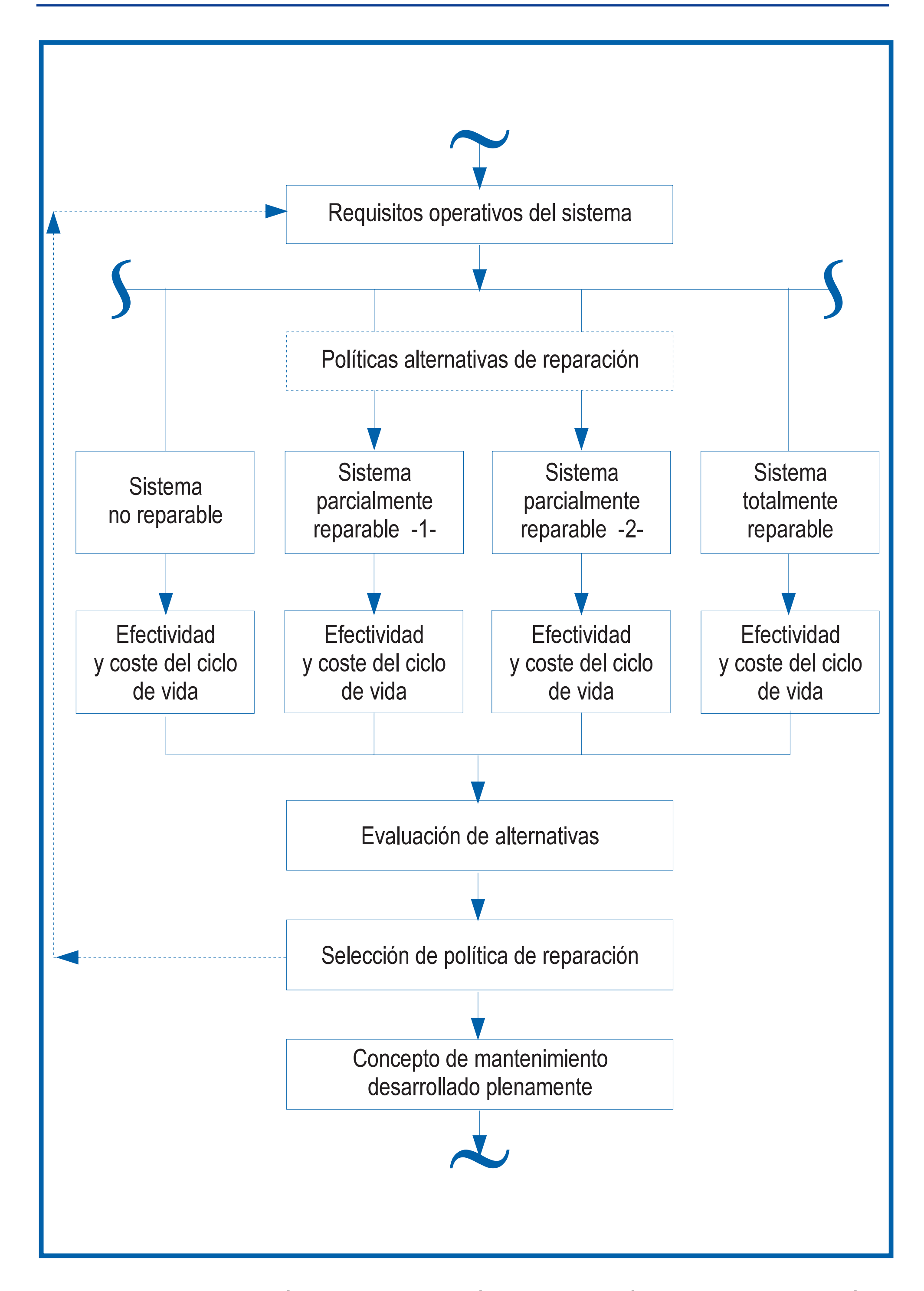


Figura ,16 en solapa

Figura 15. - EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA POLÍTICA DE REPARACIÓN -

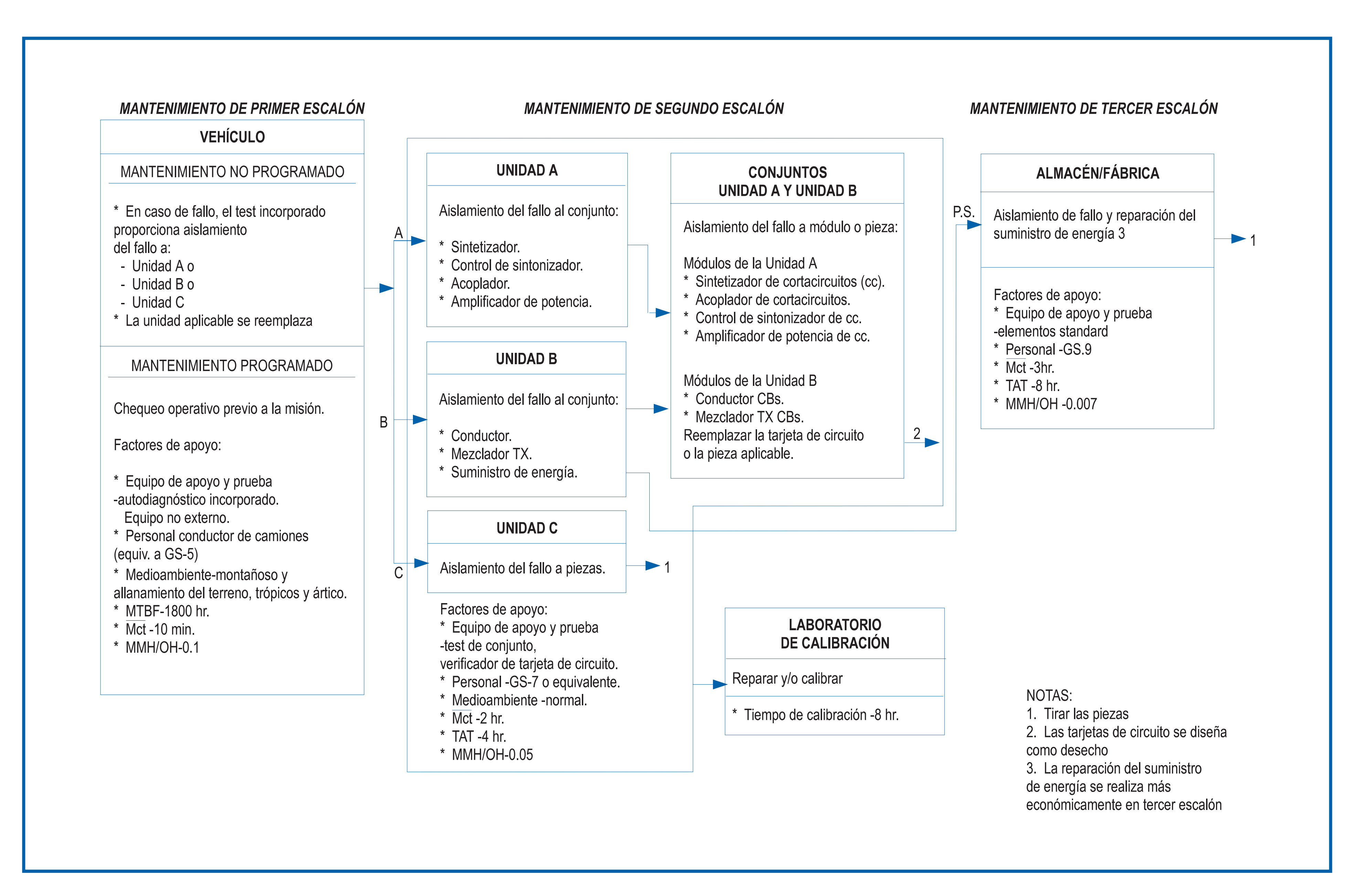


Figura 16. - POLÍTICA DE REPARACIÓN DEL SISTEMA -

el análisis LOR) y los resultados han sido obtenidos después del mismo. Aunque este enfoque puede responder a los requisitos de la definición de recursos de apoyo logístico basados en una configuración sólida de diseño, no responde al diseño del sistema en cuanto a soportabilidad.

C) **Responsabilidades organizativas**. La realización del mantenimiento puede ser responsabilidad del usuario, del fabricante (o proveedor), de terceros ¡o de una combinación de ellos! Además, la responsabilidad puede cambiar de mano, a medida que se avanza en la fase de utilización. Por ejemplo, puede establecerse una capacidad interina de apoyo del contratista donde el apoyo al sistema corresponde al fabricante en una fase inicial de su funcionamiento, pasando posteriormente a ser responsabilidad del usuario. Por otra parte, un determinado artículo puede considerarse no reparable siempre que existan fuentes adecuadas de suministro de piezas de recambio y repuesto. Con la transferencia de responsabilidades relativas al apoyo, un artículo clasificado inicialmente como no reparable puede llegar a ser reparable, según la capacidad de la nueva organización.

Las decisiones relativas a las responsabilidades organizativas pueden tener un impacto en el diseño del sistema desde el punto de vista de diagnóstico y empaquetado del equipo y software, además de condicionar las políticas de reparación, cláusulas de garantía del contrato y similares. El análisis del nivel de reparación ayuda a describir las políticas de reparación, aunque las decisiones dependen en gran parte de criterios económicos. Al mismo tiempo, existen otros factores que influirán en las decisones sobre si un producto es reparable o no (por ejemplo, factores técnicos de seguridad, organizativos y políticos y ambientales; la Sección 3.2 contiene información adicional sobre los análisis de nivel de reparación).

D) **Elementos de apoyo logístico**. Se refiere a los criterios de diseño relativo a los elementos logísticos identificados en la Figura 4. Estos elementos incluyen el aprovisionamiento (repuestos y recambios), y pueden incluir factores de probabilidad respecto a disponibilidad de recambios, niveles de inventario, cantidades económicas de pedidos,

frecuencia de ciclos de aprovisionamiento, etc. Pueden desarrollarse los criterios apropiados para equipos de autodiagnóstico incorporados y/o externos y equipos de prueba; por ejemplo disponibilidad, MTBF, MTBM, MDT, frecuencia de calibración y tiempo de funcionamiento para los equipos de prueba. Puede resultar conveniente incluir también los niveles de personal de mantenimiento, el nivel de especialización, los requisitos de formación, y los factores de efectividad.

De todos modos, el concepto de mantenimiento proporciona algunos criterios iniciales y líneas de referencia para el diseño de la capacidad global de apoyo reflejado en la Figura 5. Tanto los parámetros relacionados con las prestaciones como los factores de efectividad han de ser contemplados. Aunque el trabajo de especificación de requisitos de los principales elementos del sistema relacionados con la misión sea excelente, en muchas ocasiones no se tiene en cuenta la infraestructura de apoyo. Dado un requisito de disponibilidad ¿de qué sirve especificar un tiempo medio de reparación de treinta minutos para elementos principales o software si se tarda entre seis meses y un año en conseguir un repuesto? Básicamente, la estructura de apoyo puede tender a reducir la capacidad total del sistema, a no ser que se preste atención a su diseño y efectividad total.

E) **Entorno**. Definición del entorno en lo referente al mantenimiento y apoyo. Este incluye la temperatura, vibraciones y choques, humedad, ruido, entornos árticos o tropicales, terrenos llanos o montañosos, entornos marítimos o terrestres, etc., aplicado a las tareas de mantenimiento y funciones relacionadas con el transporte, manejo y almacenamiento.

Resumiendo, el concepto de mantenimiento constituye la base para el establecimiento de los requisitos de soportabilidad en el diseño del sistema. La identificación inicial de las funciones de mantenimiento, la asignación preliminar de funciones a los distintos niveles de mantenimiento, y los estudios de procedimientos se realizan con la ayuda de los análisis de nivel de reparación y métodos relacionados. Se establece una línea de referencia que nos conduce al análisis de apoyo logístico (ver Figura 12) y la preparación del plan definitivo de

mantenimiento durante la fase del diseño y desarrollo detallados.

3.1.3. Desarrollo y asignación de prioridades de medidas de prestaciones técnicas

Tomando como base los requisitos operativos y el concepto de mantenimiento, se identifican factores cuantitativos específicos o las métricas asociadas con el sistema que se está desarrollando. Estas métricas, que se suelen denominar «medidas de prestaciones técnicas» (technical performance measures, TPM) o «parámetros dependientes del diseño», deben fijarse inicialmente como parte del proceso de definición de requisitos durante el diseño conceptual e incluirse en la especificación del sistema Tipo «A» siendo verificados más tarde a través de la evaluación y revisión continua del sistema.

Las TPM deben identificarse de forma jerárquica, empezando a nivel de sistema, descendiendo hasta el subsistema, nivel de configuración de artículo, equipos y software, para cada elemento logístico. Debe existir la posibilidad de detectar los requisitos medibles de arriba-abajo, y el cumplimiento de estos requisitos ha de verificarse más tarde de abajo-arriba mediante el proceso de prueba y evaluación.

La Figura 17 identifica unas TPM típicas que, si se especificaran, tendrían un impacto considerable en la logística. Estas TPM se han dividido en dos categorías: (a) factores probablemente aplicables al sistema total y que influirán principalmente sobre los elementos del sistema relacionados con su misión; y (b) factores que pueden relacionarse directamente con los elementos logísticos identificados en la Figura 4. Los factores de ambas categorías están íntimamente interrelacionados, según refleja la Figura 6. Aquellos parámetros que se aplican a los elementos principales del sistema influyen enormemente sobre el diseño de la infraestructura de apoyo logístico, y los que se aplican en el área de logística condicionarán la capacidad del sistema para llevar a cabo su misión con éxito.

MEDIDAS SELECCIONADAS DE PRESTACIONES TÉCNICAS (TPM)

A. NIVEL DE SISTEMA

1. Rentabilidad (LCC/medida de efectividad del sistema)
2. Efectividad del sistema (disponibilidad, seguridad de misión y medida de prestaciones)
3. Disponibilidad (A)
4. Seguridad de misión (D)
5. Fiabilidad (R, MTBF, MTTF)
6. Mantenibilidad (MTBM, MTBR, MDT, M, Mct, Mpt, MMH/OH)
7. Factores humanos (Personal operador, nivel de formación, tasa de errores)
8. Prestaciones (alcance, precisión, tamaño, producción, rapidez, peso, etc.)
9. Coste del ciclo de vida (diseño y desarrollo, producción/construcción, operación, mantenimiento y apoyo, retirada, reciclaje de materiales)

B. ELEMENTOS LOGÍSTICOS (VER LA FIGURA 4)

1. Apoyo al suministro (tasas de demanda de recambios, MTBR, probabilidad del éxito del sistema sin recambios, probabilidad de disponibilidad de recambios/repuestos, niveles de inventario, tasa de reemplazo del inventario, cantidad económica de pedidos, tasa de condenación, tiempo de adquisición, tasa de obsolescencia, tasa de desgaste, tasa de daños, coste)

2. Equipos de prueba y apoyo (tasa de utilización, tiempo de proceso del centro de pruebas o tiempo de utilización, disponibilidad, fiabilidad, mantenibilidad, tasa de calibración y duración del ciclo, tasa de retirada, coste)

3. Transporte y manipulación (método de transporte y ruta, distancia, tiempo, frecuencia, coste)

4. Instalaciones de mantenimiento (tasa de llegada de artículos y lista de espera, tiempo de proceso, tiempos de rotación de artículos, porcentaje de utilización, tasa de consumo de materiales, acción de consumo/mantenimiento de facilidades, coste)

5. Personal y formación (MMH/acción de mantenimiento, niveles de personal y cualificaciones, tasa de errores de mantenimiento, atrición, frecuencia de formación y tiempo)

6. Recursos informáticos (fiabilidad del software, mantenibilidad, tasa de mantenimiento, nivel de complejidad, líneas de código, coste)

7. Datos técnicos (volumen, errores/página, lenguaje y formato, coste)

Figura 17. - ATRIBUTOS DEL SISTEMA Y TPM RELACIONADAS CON LA LOGÍSTICA -

La aplicación de las TPM debe adaptarse al sistema en cuestión y dependerá, por supuesto, de los requisitos del usuario y de las funciones que el sistema ha de desempeñar. Es posible que todos los factores identificados en la Figura 17 sean aplicables. Además, es probable que las prioridades que indican los respectivos niveles de importancia varíen en cada situación. De cualquier forma, las métricas correctas han de ser especificadas y ordenadas por importancia para el sistema en cuestión, y deben estar relacionadas con los escenarios de la misión. Por otra parte, las TPM orientadas a los elementos logísticos deben identificarse en el marco de la infraestructura global de apoyo reflejada en la Figura 5; es decir ¿cuáles de las TPM son aplicables a nivel organizativo, a nivel intermedio y a nivel suministrador/almacén de mantenimiento?

Históricamente, la aplicación de las TPM se ha realizado a nivel de sistema, con énfasis en la especificación de factores de prestaciones de los elementos principales del sistema. En muchos casos, se han especificado también los factores de efectividad, fiabilidad y mantenibilidad y coste. Sin embargo, se ha dedicado muy poca (si es que alguna) atención a la infraestructura de apoyo y a la evaluación de su efectividad y eficacia. Pero si el objetivo futuro consiste en diseñar el sistema para soportabilidad, los elementos de la infraestructura de apoyo logístico deben tener el mismo grado de importancia que los elementos principales del sistema.

3.1.4. Análisis funcional del sistema y asignación de requisitos

Como muestra la Figura 12, el siguiente paso en el proceso de ingeniería de sistemas es el desglose, o descomposición, de requisitos especificados a nivel de sistema, subsistema, y tan abajo en la estructura jerárquica como sea necesario para identificar los recursos específicos y los diferentes componentes del sistema. El objetivo consiste en definir el sistema en términos funcionales, describiendo

los «¿qué?» y no los «¿cómo?»; es decir, hay que definir lo que debe hacerse y no cómo debe hacerse. Las funciones pueden incluir funciones de diseño, producción, utilización, mantenimiento y apoyo, etc. Las funciones de alto nivel se descomponen en las de segundo nivel, las funciones operativas conducen a las de mantenimiento y se emplea la numeración de bloques para proporcionar capacidad de seguimiento de los requisitos, tanto descendente como ascendente. La Figura 18 muestra un diagrama funcional simplificado de bloques con cierta medida de descomposición.

Dada una descripción de alto nivel del sistema en términos funcionales, el paso siguiente es combinar o agrupar las funciones similares en subdivisiones lógicas, identificando los principales subsistemas y los componentes de los niveles inferiores de la totalidad del sistema; es decir, desarrollar un esquema de empaquetado funcional para el sistema. Esto resulta en la identificación inicial de equipos, software, recursos humanos, instalaciones, datos o sus combinaciones. Esto, a su vez, conduce al proceso de asignación de requisitos, o la distribución de TPM desde el nivel de sistema hacia abajo, hasta llegar al nivel necesario. La Figura 19 refleja los resultados de la asignación para un sistema típico orientado al hardware.

Las funciones operativas conducen a funciones de mantenimiento (ver Figuras 19 y 20). Se procede a la evaluación de cada bloque en términos de entradas, salidas, controles y/o limitaciones y mecanismos facilitadores (ver Figura 20). Cabe subrayar que las expresiones de cada bloque están 'orientadas a acciones' y que los «mecanismos» conducen, básicamente, a la identificación de los recursos específicos necesarios para desarrollar la función; por ejemplo, de un equipo, elemento de software, una herramienta de prueba, una instalación, recursos humanos, una pieza de recambio, etc. Estos requisitos de recursos son verificados más adelante a través del análisis de apoyo logístico.

Desde un punto de vista logístico, el análisis funcional proporciona una base común para identificar todos los recursos de

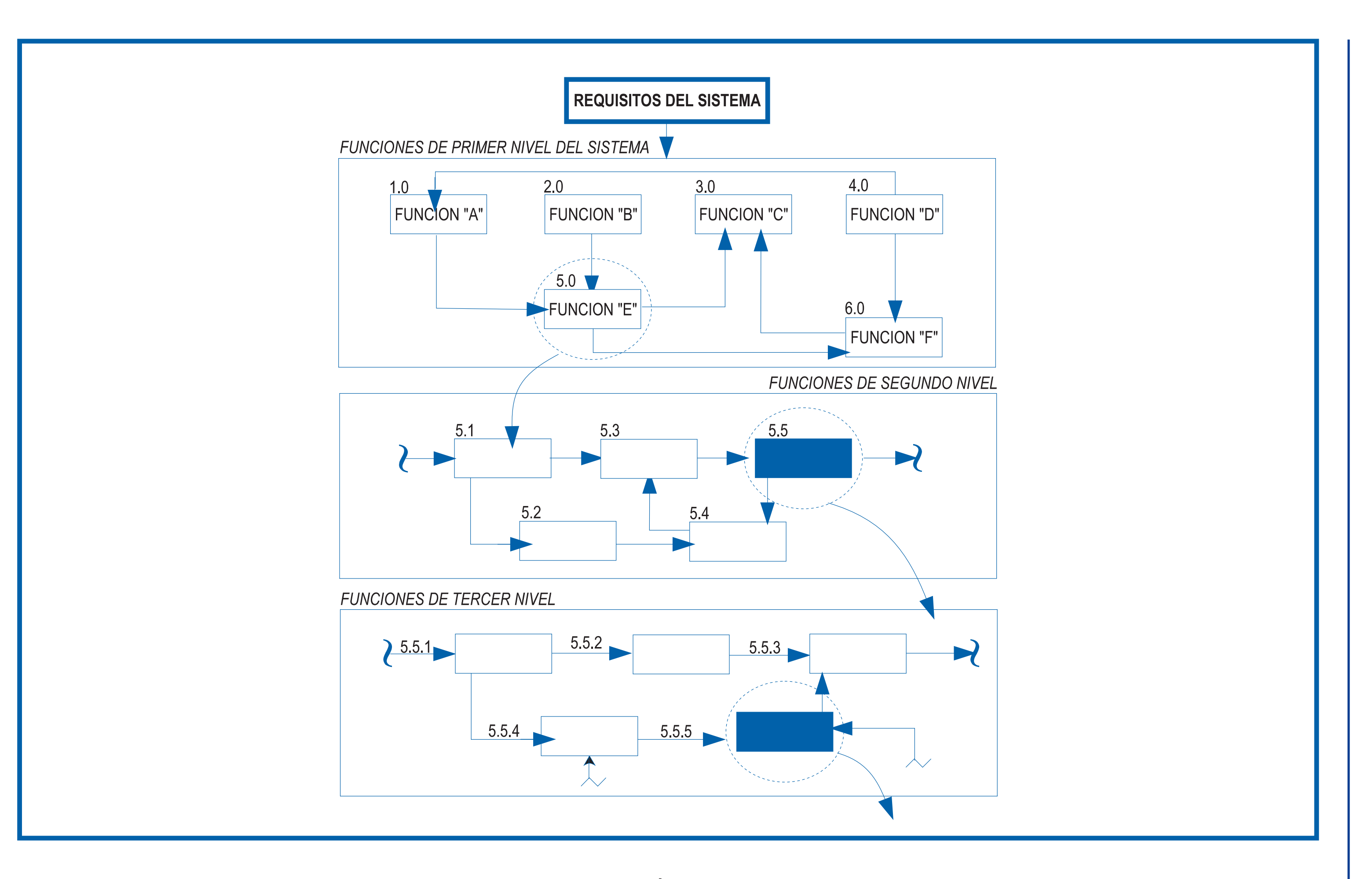


Figura 18. - DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL DEL SISTEMA -

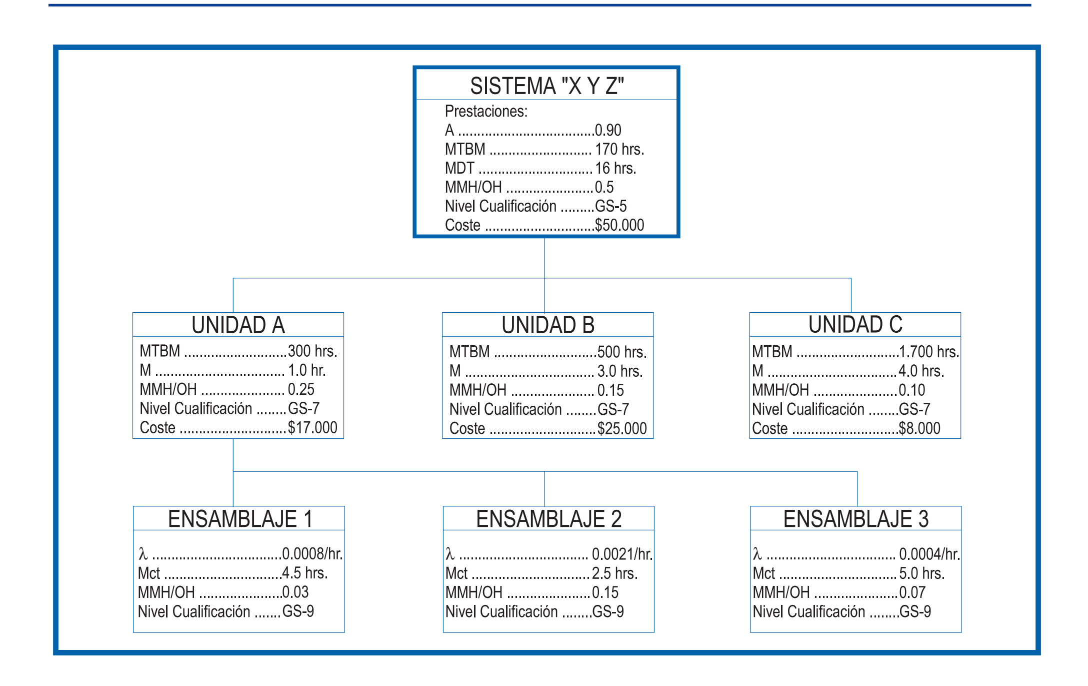


Figura 19. - ASIGNACIÓN DE OBJETIVOS DEL SISTEMA XYZ -

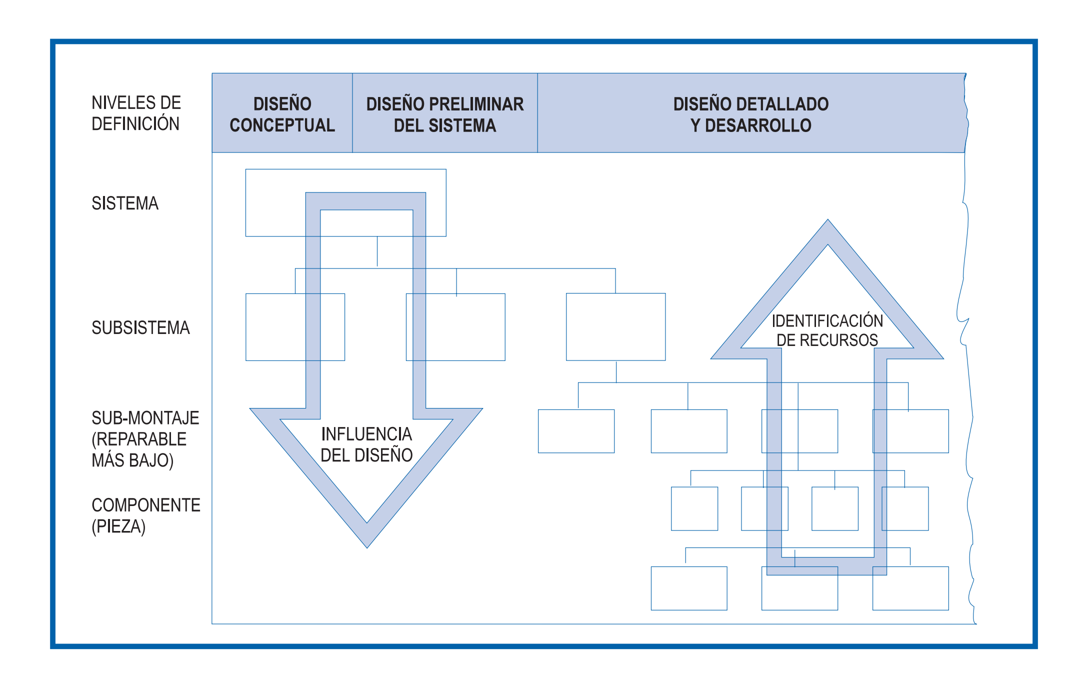


Figura 20. - TENDENCIAS DE ANÁLISIS DE APOYO LOGÍSTICO-

mantenimiento y apoyo; es decir, los requisitos específicos para cada uno de los elementos reflejados en la Figura 4. Por otra parte, se utiliza como entrada principal en la elaboración y desarrollo de varios análisis, tanto dentro del análisis de apoyo logístico como en los análisis relacionados. Por ejemplo, un análisis funcional es necesario para la realización de:

a) Modelos de fiabilidad y diagramas de bloques; esto es, análisis de fiabilidad.
b) Análisis de modos de fallos, sus efectos y su criticidad (Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis, FMECA).
c) Mantenimiento centrado en la fiabilidad (Reliability-Centered Maintenance, RCM).
d) Análisis de nivel de reparación (Level of Repair Analysis, LORA).
e) Análisis de riesgos/seguridad del sistema.
f) Análisis de mantenibilidad y análisis de tareas de mantenimiento.
g) Análisis de tareas de operador (Operator Task Analysis, OTA), y diagramas de secuencias operativas (Operating Sequence Diagrams, OSD).
h) Análisis de apoyo logístico (Logistic Support Analysis, LSA).
i) Análisis de coste del ciclo de vida (Life-Cycle Cost Analysis, LCCA).

En el desarrollo del análisis de apoyo logístico, debe seguirse una sola línea de referencia para la descomposición de las funciones de mantenimiento (identificadas inicialmente como parte del concepto de mantenimiento) en subfunciones y tareas detalladas. A partir de aquí, se procede al análisis de tareas de mantenimiento (Maintenance Task Analysis, MTA) así como a la identificación de los recursos específicos necesarios para la realización de cada tarea; por ejemplo, recambios, equipos de prueba y apoyo, personal, instalaciones, software de mantenimiento, y datos. Se consideran tanto los requisitos programados como los no programados. El LSA se trata en detalle en la Sección 3.2.

En el pasado, el análisis no se ha realizado siempre en el momento adecuado, si es que se llegaba a realizar; es más, las funciones de mantenimiento que han de desarrollarse en todos los niveles de la infraestructura (ver la Figura 5) normalmente no se consideraban. Como consecuencia, las diferentes disciplinas de diseño asignadas a un programa determinado han tenido que generar sus propios análisis para cumplir con los requisitos del mismo. En muchos casos, estos análisis se realizaban de forma independiente, y muchas decisiones de diseño se tomaban sin poder beneficiarse de un criterio común. Por supuesto, esto resultaba en discrepancias de diseño y costosas modificaciones en momentos posteriores del ciclo de vida del sistema. Por consiguiente, el análisis funcional y el proceso de asignación proporcionan una base excelente, y todas las actividades pertinentes de diseño deben «seguir» la misma fuente de datos para satisfacer los objetivos, tanto de la ingeniería de sistemas, descritos en la primera monografía de esta serie [1] como de la ingeniería logística, descritos en esta publicación.

3.1.5. Especificación de requisitos de apoyo logístico

El documento más importante, desde la perspectiva del diseño, es la especificación del sistema tipo «A» que describe la configuración funcional básica del sistema y los resultados del proceso de análisis de requisitos (ver Hito 1, Figura 8). Este documento de nivel superior constituye la base del desarrollo de la totalidad de los requisitos técnicos y conduce a los requisitos de diseño de subsistemas y otros componentes del sistema; por ejemplo, especificaciones de desarrollo, producto, proceso, y materiales o componentes. La Figura 17 de la monografía «Ingeniería de Sistemas» [1] presenta un ejemplo de lo que puede incluirse en la especificación de un sistema. Nótese que los requisitos logísticos se introducen a través del concepto de mantenimiento y de los diagramas de flujo funcional en las Secciones 3.1.3 y 3.1.4; se describen en cuanto a «soportabilidad» en la Sección 3.2.7, y se definen más detalladamente en la Sección 3.5. Estos requisitos técnicos deben

ser complementados por los requisitos logísticos de programa especificados en el Plan de Apoyo Logístico Integrado (Integrated Logistics Support Plan, ILSP), mostrados en la Figura 11.

En muchos proyectos, la especificación del sistema se elabora en términos algo imprecisos y no expresa los requisitos de una forma muy definitiva. Los requisitos logísticos se especifican, con frecuencia, en términos tan generales como «el sistema será diseñado para soportabilidad» o «el sistema será diseñado para ser compatible con la infraestructura existente» o «el sistema será diseñado para un mantenimiento económico y efectivo». A veces, la falta de definición inicial es intencionada, ya que permite al grupo de diseño la máxima flexibilidad durante el máximo de tiempo. Al mismo tiempo, se preparan y negocian contractualmente especificaciones de más bajo nivel y el diseño detallado de los subsistemas y componentes progresa sin el beneficio de una base sólida sobre la que construir. Simultáneamente, el grupo logístico se esfuerza por seguir las distintas iteraciones de diseño de los elementos principales del sistema. De esta forma, cuando finalmente se integran los distintos componentes del sistema, de abajo a arriba, existen desigualdades, incompatibilidades, desperdicio de documentación ya introducida, etc. Este proceso posterior de cambios y modificaciones 'para que las cosas funcionen' suele ser bastante costoso, como se demuestra en la Figura 3. Por consiguiente, es esencial elaborar e implementar desde el principio una buena especificación completa. Además, los requisitos logísticos deben definirse de manera satisfactoria e incluirse dentro de esta especificación.

3.2. Análisis de apoyo logístico

Según lo expuesto en la Sección 1.2, el LSA constituye un proceso analítico, realizado dentro del marco global de análisis en la ingeniería de sistemas. Uno de sus objetivos es aplicar las herramientas, las técnicas y los métodos apropiados durante todo el proceso de adquisición del sistema para: (a) influir en el diseño del sistema para lograr su soportabilidad; y (b) determinar los requisitos de recursos de

apoyo logístico del sistema a lo largo de su ciclo de vida proyectado. Se concede particular importancia al análisis inicial y al diseño del sistema, como demuestra la Figura 20 [27, 18].

En los primeros momentos de las fases de diseño conceptual y preliminar del sistema el énfasis es de arriba-abajo, con el objetivo de influir directamente en el diseño para soportabilidad; esto es, un enfoque 'a priori' a través del establecimiento de requisitos de soportabilidad. Después, dada una configuración de diseño seleccionada, el énfasis está en la identificación de recursos de mantenimiento y apoyo, así como en el diseño de la infraestructura de apoyo del sistema.

3.2.1. El proceso de análisis de apoyo logístico

El proceso ilustrado en la Figura 21 es inherente al LSA. A medida que se progresa en el diseño conceptual y preliminar, el desarrollo inicial de requisitos de soportabilidad y criterios de diseño, la selección y aplicación de tecnologías, la evaluación de configuraciones alternativas de diseño, etc., se hacen necesarios una serie de pasos, según se muestra en la Figura 21. Dependiendo del problema, pueden emplearse diferentes herramientas y técnicas, como se indica en el Bloque 4. Además, pueden utilizarse varias combinaciones de modelos informáticos para facilitar el esfuerzo analítico general. El objetivo es seleccionar los modelos apropiados, integrados mediante estaciones de trabajo para el diseño, y adaptar estas herramientas al problema concreto. La Figura 22 muestra el método deseado así como las interrelaciones que pueden existir, donde los resultados de un análisis influirán sobre otro. Se trata de seleccionar y emplear las herramientas adecuadas que nos permitan apoyar el proceso global de diseño del sistema de forma oportuna y efectiva.

El proceso LSA es iterativo y dispone de los elementos apropiados de realimentación para cumplir los objetivos antes mencionados. Los resultados incluyen no solamente los pasos necesarios para influir en el diseño en relación con la soportabilidad ~~del sistema, sino también para proporcionar una base de datos que~~ resulte en el registro de análisis de apoyo logístico (Logistics Support

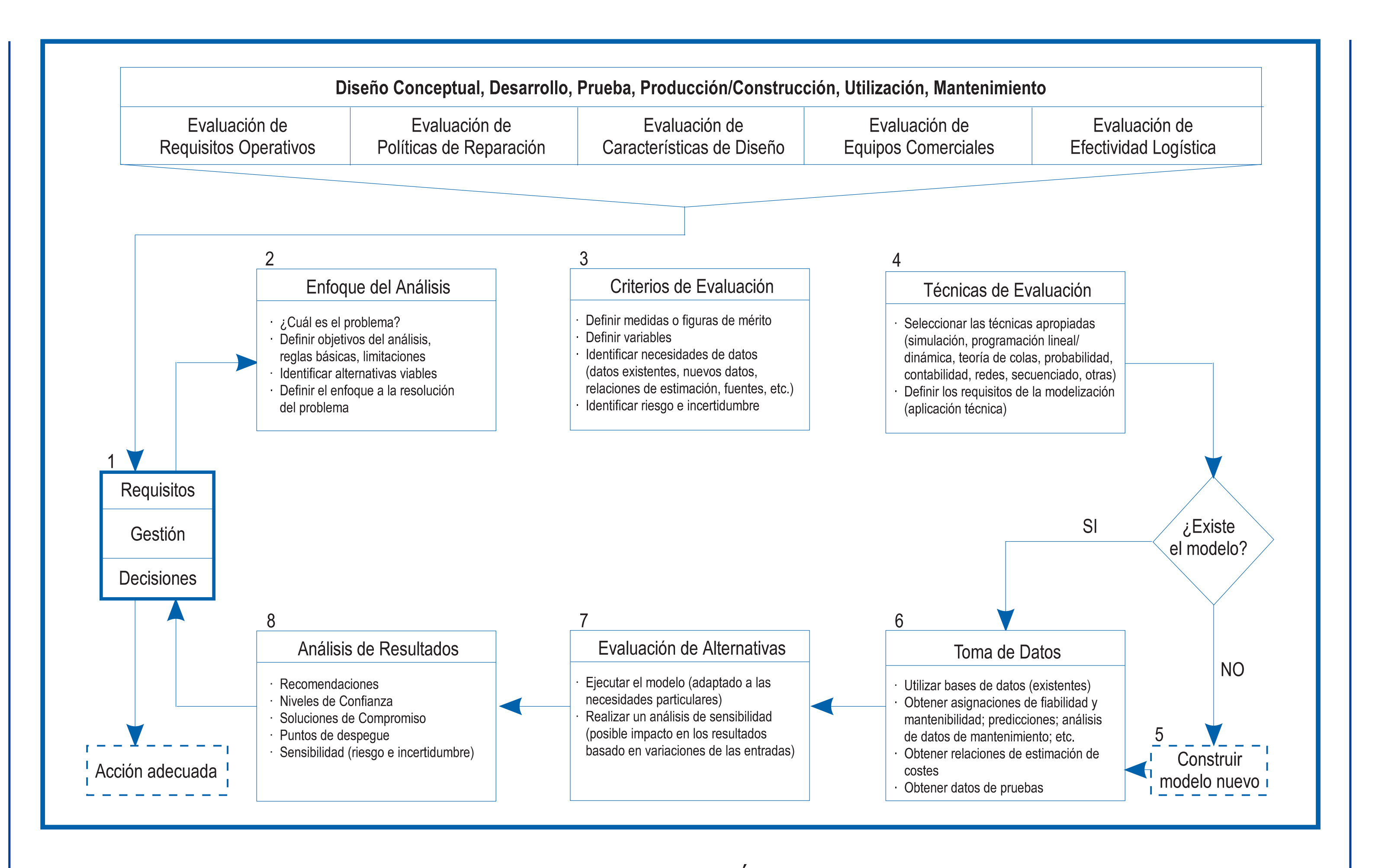


Figura 21. - EL PROCESO DE ANÁLISIS DEL SISTEMA -

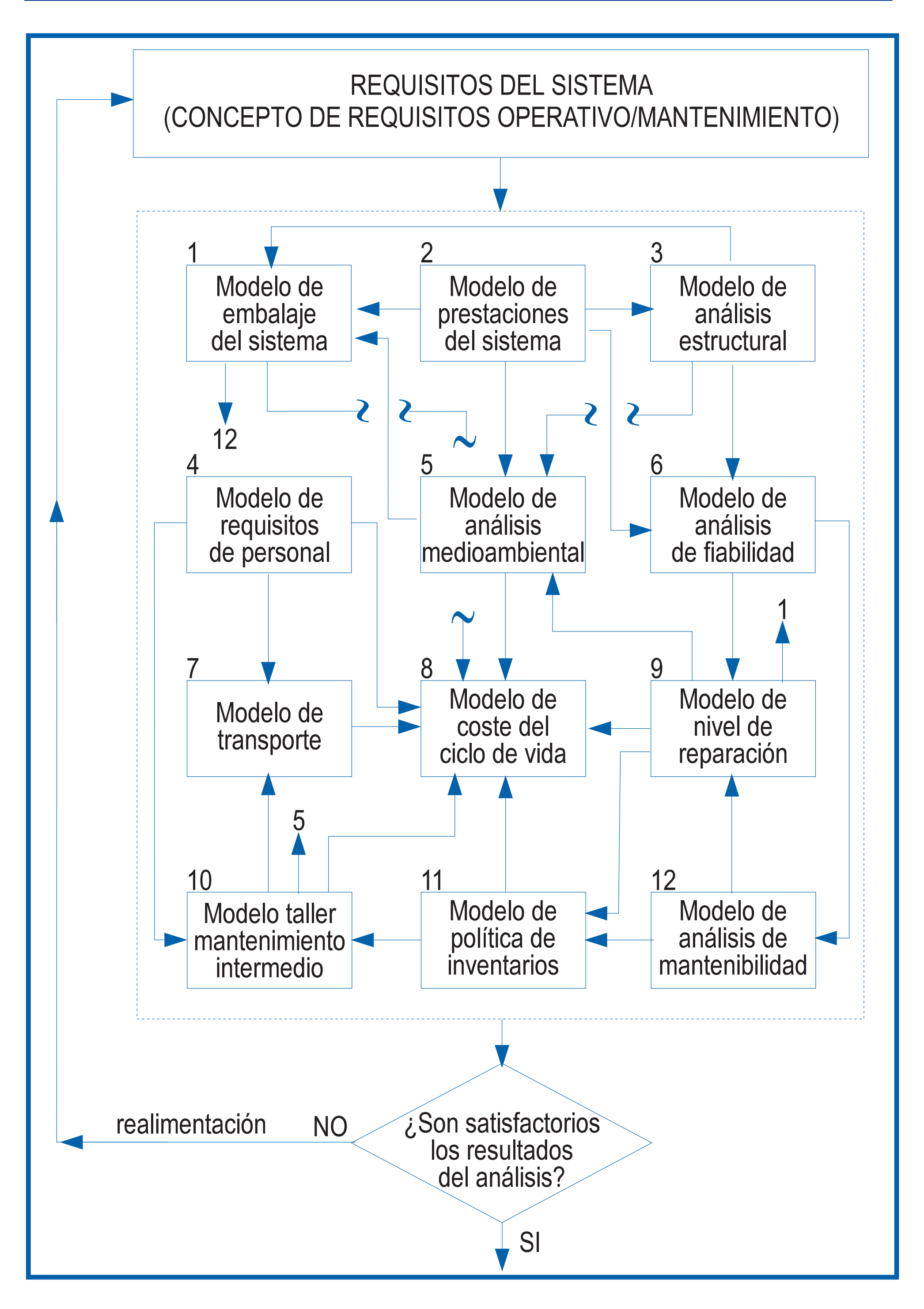


Figura 22. - LA INTEGRACIÓN DE MODELOS ANALÍTICOS -

Figura 23 en solapa

1. Niveles de Mantenimiento

2. Tareas de mantenimiento/nivel

   - Secuencias de tareas
   - Tiempo de tareas
   - Frecuencia de tareas

3. Equipos de prueba y apoyo

   - Cantidad y tipo/nivel
   - Tasa de utilización
   - Fiabilidad
   - Requisitos de utilización
   - Coste de I+D
   - Coste de inversión
   - Coste de operación y mantenimiento

4. Recambios/repuestos

   - Niveles de reparación
   - Artículos no reparables o consumibles (cantidad y tipo)
   - Artículos reparables-cantidad y tipo
   - Frecuencia de reposición
   - Nivel de inventario
   - Nivel de seguridad de stocks
   - Tasa de condenación
   - Artículos de elevado coste
   - Ciclo de aprovisionamiento
   - Tiempo de distribución
   - Tasa de desgaste
   - Tiempo de almacenaje
   - Disponibilidad de recambios
   - Coste de pedido
   - Coste de inventario
   - Coste de material

5. Personal y formación

   - Número de personal, cualificación y requisitos de especialización/nivel
   - Tasa de atrición
   - Curva de aprendizaje
   - Efectividad del personal
   - Coste del personal-coste directo y gastos fijos
   - Requisitos de formación inicial (número y tipo de personal)
   - Requisitos de formación posterior (número y tipo de personal)
   - Cursos de formación
   - Datos de formación
   - Equipos de formación
   - Coste de formación de personal
   - Coste de datos y equipos de formación

6. Datos técnicos

   - Requisitos de manuales técnicos
   - Datos de aprovisionamiento logístico
   - Requisitos del sistema de recogida de datos
   - Coste inicial de datos
   - Coste de cambios de datos

7. Transporte y manipulación

   - Requisitos de equipos: cantidad, tipo, ubicación
   - Empaquetado (contenedores) y transporte por vía marítima
   - Coste de equipos (I + D, inversión, operación y mantenimiento
   - Coste de transporte

8. Modificaciones

9. Recursos informáticos (mantenimiento)

10. Instalaciones

   - Requisitos de instalaciones para operación, mantenimiento y formación
   - Utilización de instalaciones
   - Requisitos de espacio: distribución del espacio
   - Requisitos de almacenamiento
   - Requisitos de servicios (potencia eléctrica, luz, calor, agua)
   - Equipos principales
   - Herramientas y equipos especiales para manipulación
   - Requisitos ambientales (protección, cuarto limpio, etc.)
   - Coste de instalaciones (I + D, inversión, O + M)

11. Factores adicionales

   - Disponibilidad (Ai, Aa, Ao)
   - MTBM, MTBF, λ, R, MTBR
   - Coste/efectividad del sistema
   - MDT, $\overline{Met}$, $\overline{Mpt}$, $\widetilde{Met}$, $\widetilde{Mpt}$, $MTTR_G$, M_{max}, $\overline{M}$, nivel de confianza
   - Tiempo de recuperación, (TAT)
   - Nivel de auto-verificación
   - Acciones de mantenimiento/año
   - Seguridad de misión
   - Coste del ciclo de vida (I + D, inversión, operación y mantenimiento)
   - Coste/MA. Coste/OH
   - Factor de intensificación
   - Tasa de descuento
   - Utilización de equipos principales
   - Modos de fallos, sus efectos y criticidad

Figura 23. - RESUMEN DE DATOS DE SALIDA PARA EL ANÁLISIS DE APOYO LOGÍSTICO -

Analysis Record, LSAR). La Figura 23 indica algunos datos que pueden incluirse en el LSAR para un sistema a gran escala.

3.2.2. Herramientas seleccionadas y técnicas empleadas en el proceso de análisis de apoyo logístico

El cumplimiento de los objetivos del LSA depende, en gran medida, de la disponibilidad de las diferentes herramientas y modelos y de su grado de integración durante el proceso de diseño. En la Figura 22 se identifican algunas de estas herramientas y se muestran las principales interfaces en términos del flujo de datos. Con referencia a la Figura 24, algunas de estas herramientas han sido seleccionadas para ser tratadas con más detalle, con el fin de dar énfasis a la importancia de su aplicación en el proceso del LSA.

A) **Análisis del coste de ciclo de vida**. Se ha subrayado repetidamente la importancia de emplear métodos de cálculo del coste de ciclo de vida, desde las fases iniciales de los procesos de diseño del sistema y de toma de decisiones. Teniendo en cuenta que cada método individual debe ser «adaptado» a la necesidad específica, la Figura 25 muestra los pasos generales a seguir en la realización de un análisis del coste de ciclo de vida.

Respecto a la Figura 25, en primer lugar, hemos de definir el problema. A la hora de evaluar las alternativas, cada uno de los métodos viables contemplados debe ser «proyectado» en el contexto del ciclo de vida previsto, identificando las actividades a tener en cuenta a lo largo del ciclo de vida; es decir, el paso 3. La Figura 26 muestra una definición simplificada de los requisitos operativos, el concepto de mantenimiento y el plan de ciclo de vida; esto, a su vez, nos proporciona la base para el desarrollo de una estructura de desglose de costes (Cost Breakdown Structure, CBS) como la mostrada la Figura 27. La CBS representa una estructura «funcional» que puede emplearse en la asignación inicial de costes (en una situación de «diseño-al-coste»)

Métodos/herramientas de evaluación	Descripción de la aplicación
1. Análisis del coste del ciclo de vida (LCCA)	Determinación del coste del ciclo de vida del sistema/producto/proceso, contribuidores de alto coste, relaciones causa-efecto, áreas de riesgo, e identificación de áreas (p.ej. reducción de costes).
2. Estimaciones y predicciones de fiabilidad y mantenibilidad	Evaluación del sistema/producto/proceso (o elementos de los mismos) en términos de tiempo medio estimado entre fallos (MTBF), tiempo medio entre mantenimiento (MTBM), tiempo de parada por mantenimiento (MDT, $\overline{M}ct$, $\overline{M}pt$), y horas de trabajo de mantenimiento por hora de operación (MLH/OH).
3. Análisis de modo de fallos, sus efectos y su criticidad (FMECA)	Identificación de fallos potenciales del producto y/o proceso, modos de fallos y "causas", frecuencia anticipada y criticidad en términos de operaciones de usuario y terminación de la misión.
4. Análisis de tareas de mantenimiento (MTA)	Evaluación de funciones/tareas de mantenimiento en términos de tiempos de tarea y secuencias, número de personal y nivel de especialización, y requisitos de recursos de apoyo; por ejemplo, recambios/repuestos e inventarios asociados, herramientas y equipos de prueba, instalaciones, transporte y manipulación, datos/manuales técnicos, formación de personal, software. Identificación de áreas de alto consumo de recursos.
5. Análisis de nivel de reparación (LORA)	Evaluación de políticas existentes de mantenimiento en términos de niveles de reparación; por ejemplo ¿debe repararse un componente al nivel intermedio de mantenimiento (el servicio de mantenimiento de la fábrica) a nivel de proveedor, o debe desecharse cuando falla? Identificación de políticas que pueden mejorarse.
6. Mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM)	Evaluación del sistema/proceso, en términos del ciclo de vida, para determinar cual es el mejor programa global para el mantenimiento preventivo y/o correctivo. Destacar el establecimiento de un programa preventivo rentable basado en información de fiabilidad; la identificación de fallos, modos y frecuencias de fallos, criticidad, y la realización de actividades de mantenimiento preventivo para alargar la vida del sistema/proceso.
7. Sistema de recogida de datos de mantenimiento, análisis y acción correctiva (MDCAS)	Evaluación del sistema/producto/proceso de forma continua por medio de la recogida y análisis de datos técnicos y la consiguiente iniciación de cambios para acción correctivay/o a efectos de mejoras. Proporcionar datos fuente para mejora continua.

Figura 24. - HERRAMIENTAS/MÉTODOS DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA -

PASO	ACTIVIDAD
1	Definir el problema.
2	Identificar alternativas viables - evaluar configuraciones por medio del análisis de LCC.
3	Proyectar las alternativas en términos de requisitos del sistema:
4	a) Definir requisitos operativos. b) Definir el concepto de mantenimiento del sistema. c) Identificar y clasificar las actividades del ciclo de vida.
5	Desarrollar una estructura de desglose de costes (CBS) - categorías de costes y relaciones de estimación de costes.
6	Estimar los costes apropiados para cada actividad y para cada año del ciclo de vida proyectado - factores de costes conocidos, de costes análogos y relaciones de estimación de costes paramétricos. Incluye los efectos de inflación, curvas de aprendizaje, etc.
7	Desarrollar un perfil de costes para cada alternativa que se evalúa.
8	Desarrollar un resumen de costes (costes de valor actual descontados) para cada alternativa y comparar los resultados en términos de preferencia.
9	Realizar un análisis que muestre los puntos en el tiempo en que una alternativa determinada adquiere una posición de preferencia.
10	iIdentificar los contribuidores de alto coste y determinar las relaciones causa-efecto.
11	Realizar una análisis de sensibilidad
12	Realizar una análisis de riesgos e identificar las áreas potenciales de alto riesgo.
13	Recomendar un método preferido: seleccionar la alternativa más deseable.

Figura 25. - ETAPAS PRINCIPALES DEL ANÁLISIS DEL COSTE DEL CICLO DE VIDA -

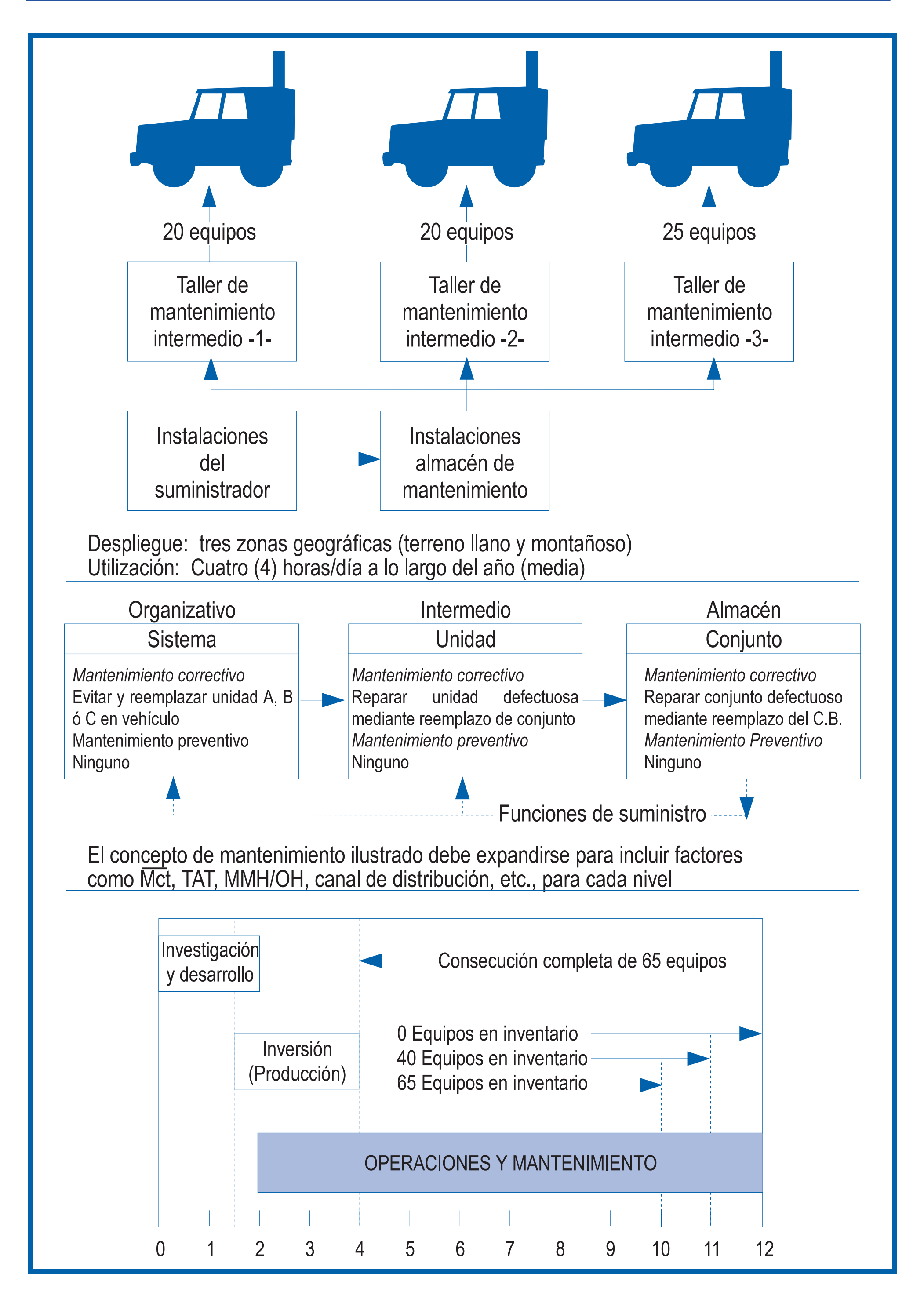


Figura 26. - PLAN DE REQUISITOS Y CICLO DE VIDA DEL SISTEMA -

Figura 27 en solapa

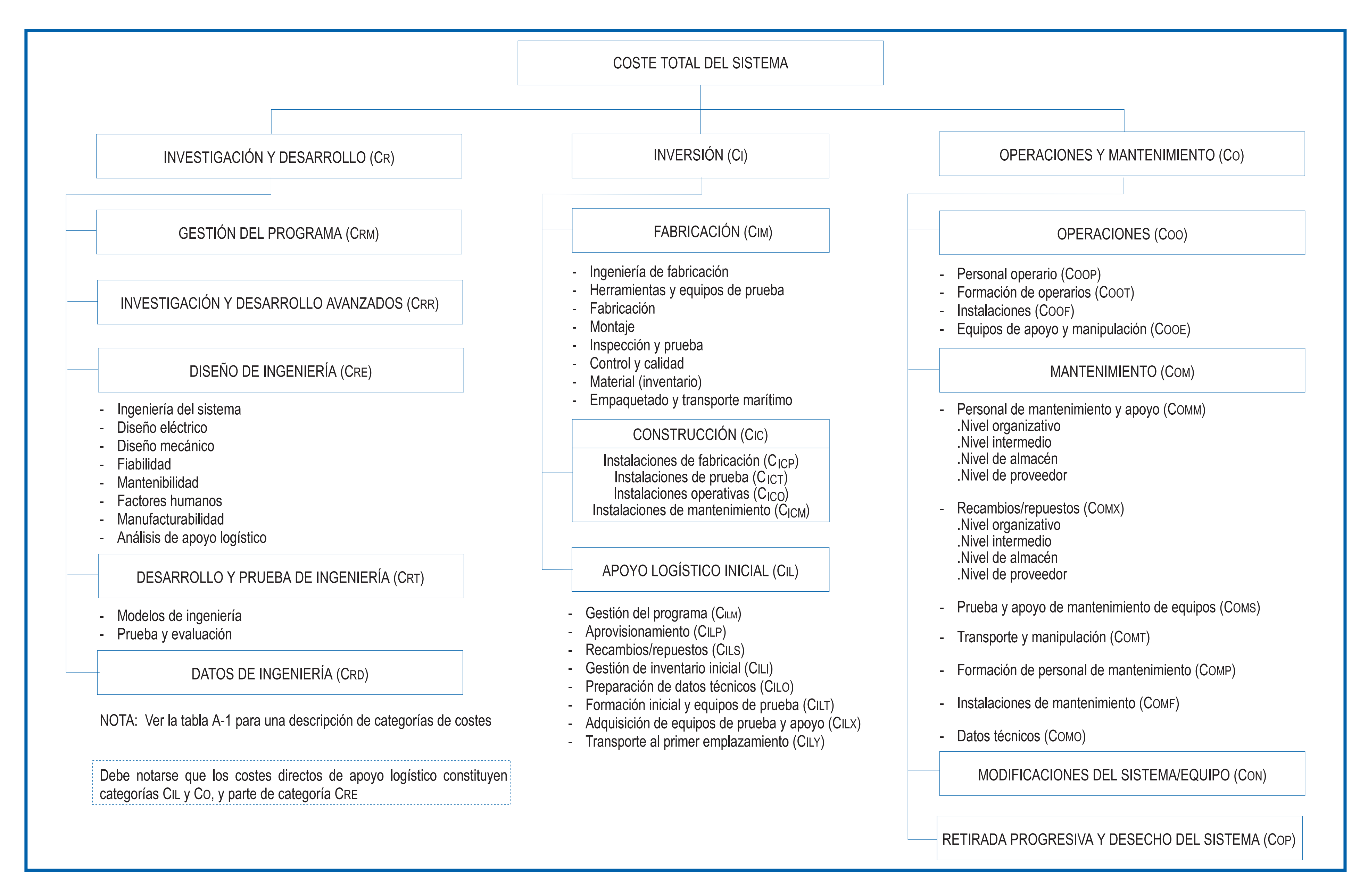


Figura 27. - ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE COSTES (CBS) -

y en el cálculo posterior de costes (en un análisis del coste de ciclo de vida). La CBS debe: (a) considerar TODOS los costes; (b) tratar los costes desde una perspectiva funcional; y (c) desglosar los costes hasta el nivel necesario para permitir la visibilidad necesaria para la evaluación de un elemento del sistema o un proceso. Las referencias [2, 20] abarcan con la profundidad necesaria los métodos de análisis de costes del ciclo de vida.

En cuanto a los pasos 6-8 de la Figura 25, en ellos se calculan los costes de cada una de las configuraciones alternativas del diseño y se desarrollan perfiles individuales del coste de ciclo de vida, cuyos resultados se recogen en la Figura 28. La Figura 29 muestra el momento en que la configuración «A» asume una posición de preferencia; es decir, seis años y medio después de su ciclo de vida proyectado de doce años.

Uno de lo objetivos del análisis de coste del ciclo de vida es mostrar con claridad las consecuencias que tendrán las decisiones de diseño y gestión en el coste total del sistema e identificar los riesgos asociados con estas decisiones lo más pronto posible en el proceso de adquisición del sistema los riesgos asociados con estas decisiones (ver Figura 2). Uno de los objetivos del diseño para soportabilidad consiste en minimizar los costes asociados con el mantenimiento y apoyo, es decir, los costes menos visibles en la base del «iceberg» de la Figura 1. En cualquier caso, el LCCA es una herramienta/un modelo imprescindible, no solamente en el proceso de ingeniería de sistemas, sino también en la elaboración del LSA .

B) **Asignaciones y predicciones de fiabilidad y mantenibilidad**. Refiriéndonos a la Sección 1.2, en las primeras fases del diseño del sistema se especifican los requisitos de fiabilidad y mantenibilidad a nivel del sistema y, posteriormente, se asignan a los subsistemas y tan abajo como sea necesario.

Los valores adecuados de tiempo medio entre acciones de

CATEGORÍA DE COSTE	Configuración A		Configuración B	
	Coste en dólares actuales	% del total	Coste en dólares actuales	% del total
1. Investigación y desarrollo (CR)	$ 70.219	7.8	$ 53.246	4.2
(a) Gestión del programa (CRM)	9.374	1.1	9.252	0.8
(b) Investigación y desarrollo avanzados (CRR)	4.152	0.5	4.150	0.4
(c) Diseño de ingeniería (CRE)	41.400	4.5	24.581	1.9
(d) Desarrollo y prueba de equipos (CRT)	12.176	1.4	12.153	0.9
(e) Datos de ingeniería (CRD)	3.117	0.3	3.110	0.2
2. Inversión (CI)	407.814	45.3	330.885	26.1
(a) Fabricación (CIM)	333.994	37.1	262.504	20.8
(b) Construcción (CIC)	45.553	5.1	43.227	3.4
(c) Apoyo logístico inicial (CII)	28.267	3.1	25.154	1.9
3. Operaciones y mantenimiento (CO)	422.217	46.9	883.629	69.7
(a) Operaciones (COO)	37.811	4.2	39.301	3.1
(b) Mantenimiento (COM)	384.406	42.7	844.328	66.6
- Personal de mantenimiento y apoyo (COMM)	210.659	23.4	407.219	32.2
- Recambios/repuestos (COMX)	103.520	11.5	228.926	18.1
- Mantenimiento de equipos de prueba y apoyo (COMS)	47.713	5.3	131.747	10.4
- Transporte y manipulación (COMT)	14.404	1.6	51.838	4.1
- Formación personal (COMP)	1.808	0.2	2.125	Neg.
- Instalaciones de mantenimiento (COMF)	900	0.1	1.021	Neg.
- Datos técnicos (COMD)	5.402	0.6	21.452	1.7
(c) Modificaciones del sistema/equipos (CON)	....	....	....	....
(d) Retirada progresiva y derecho del sistema (COP)	....	....	....	....
TOTAL	$ 900.250	100%	$ 1.267.760	100%

Figura 28. - RESUMEN DE ANÁLISIS DEL COSTE DEL CICLO DE VIDA -

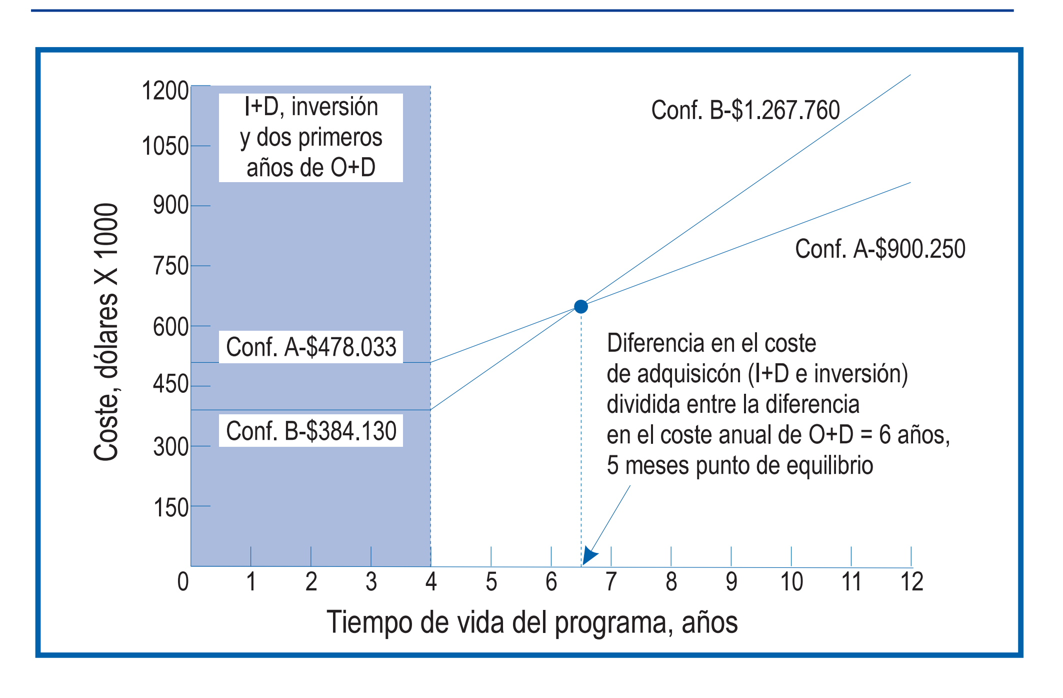


Figura 29. - ANÁLISIS DEL PUNTO DE EQUILIBRIO -

mantenimiento (MTBF, MTBM, R, λ, Mct, Mpt, M, MLH/OH, etc.), proporcionan una base para la determinación de factores de frecuencia de mantenimiento anticipado, y recursos de apoyo logístico como parte del LSA. Además, la elaboración de los análisis de coste del ciclo de vida depende en gran parte de estos factores. A medida que el sistema evoluciona, se desarrollan modelos de fiabilidad y mantenibilidad, y se realizan previsiones a partir de una evaluación de la configuración del diseño tal y como se concibe en ese momento. Estas previsiones se realizan de forma periódica y los resultados se utilizan en el LSA. La cuestión de fiabilidad y mantenibilidad se estudia más detalladamente en las monografías octava, novena y décima de esta serie [10, 12, 28].

C) **Análisis de modos de fallos, sus efectos y su criticidad**. (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis, FMECA). El FMECA se emplea a lo largo del proceso de diseño para ayudar a determinar los posibles modos de fallos que el sistema puede experimentar durante su utilización, sus frecuencias previstas, las causas, las consecuencias

o los efectos de los fallos en otros elementos del sistema y su criticidad en términos de un efecto posible sobre la capacidad del sistema para realizar su misión.

La Figura 30 muestra la manera general de enfocar el FMECA. La Figura 31 ilustra las relaciones entre un FMECA de «procesos» y un FMECA de «productos». En el ejemplo, una junta de automóvil es fabricada mediante un proceso y se plantea la cuestión «¿qué ocurre si falla el proceso de estampado?», «¿qué impacto tendrá en los otros procesos como el del acabado y en el coche en general?» La Figura 32 muestra una aplicación de un diagrama Ishikawa que facilita la identificación de las principales relaciones de causa y efecto.

El FMECA es una de las herramientas más útiles en el diseño, ya que tiene varios usos. Se emplea conjuntamente con el análisis del árbol de fallos (Failure Tree Analysis, FTA) en la elaboración de los análisis de fiabilidad [10]. Es necesario para los análisis de mantenimiento con el fin de facilitar las tareas de identificación de las áreas críticas, en las que se han de realizar trabajos de mantenimiento para evitar grandes catástrofes; así mismo, sirve como datos de entrada tanto para el análisis de tareas de mantenimiento (MTA) como para el análisis del mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) [11, 12]. Puede emplearse conjuntamente en el desarrollo de un análisis de riesgos (Hazard Analysis, HA) y en la determinación de los requisitos de seguridad del sistema, tanto desde una perspectiva operativa como de mantenimiento [13]. Cada una de las aplicaciones conduce al desarrollo del LSA.

D) **Análisis de árboles de fallos** (Failure Tree Analysis, FTA). El FTA es un método deductivo que incluye la enumeración gráfica y el análisis de diferentes modos en los que puede presentarse un fallo del sistema, así como de su probabilidad de ocurrencia. La Figura 33 ilustra un FTA típico, referente a un sistema de ascensor de un edificio. Debe especificarse un evento de alto nivel (por ejemplo, "daño a pasajeros"). Además, ese evento debe poder ser claramente observable, definible y mensurable en forma no ambigua. A partir de este evento se desarrolla

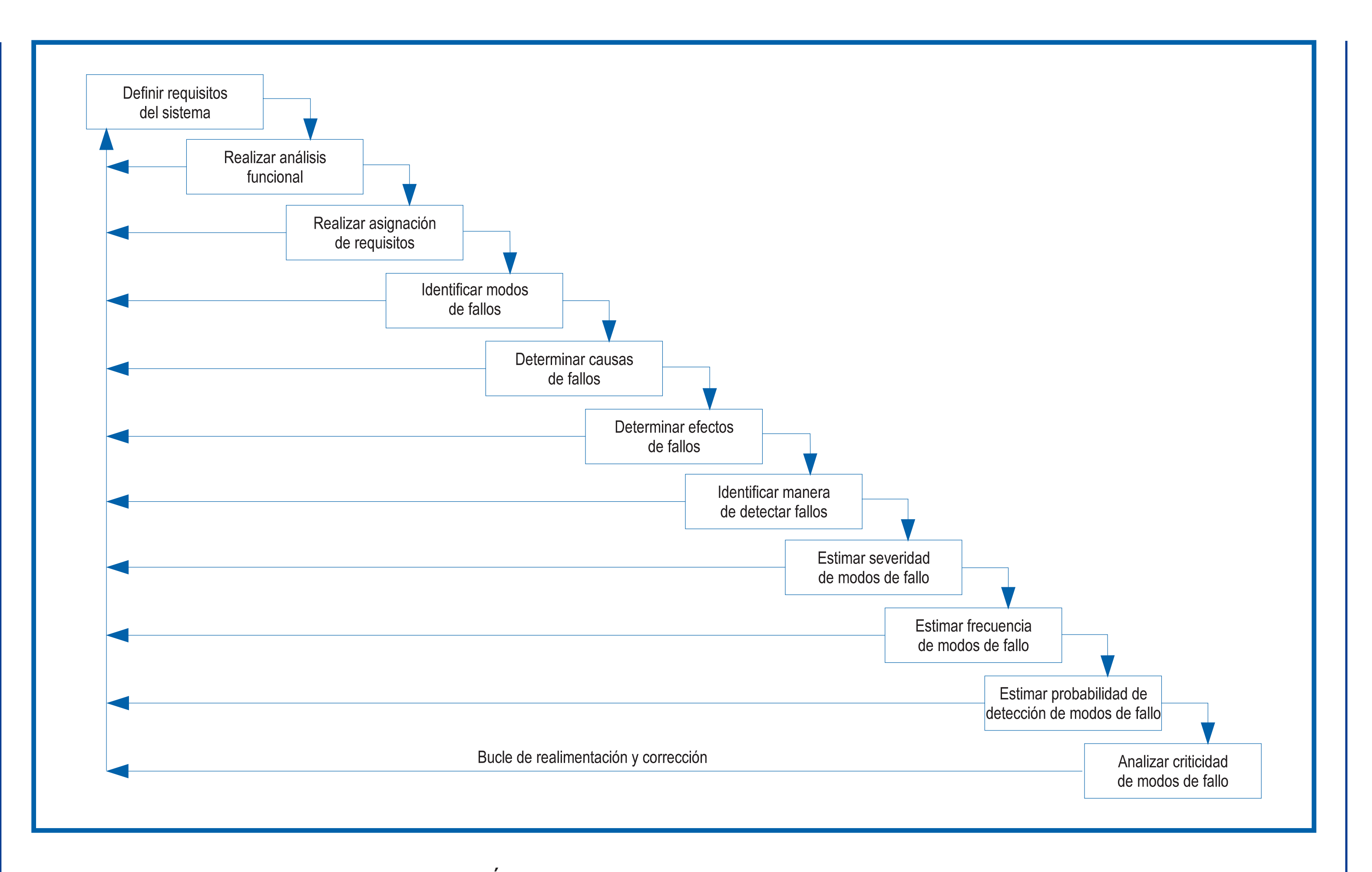


Figura 30. - MÉTODO GENERAL PARA REALIZAR UN FMECA -

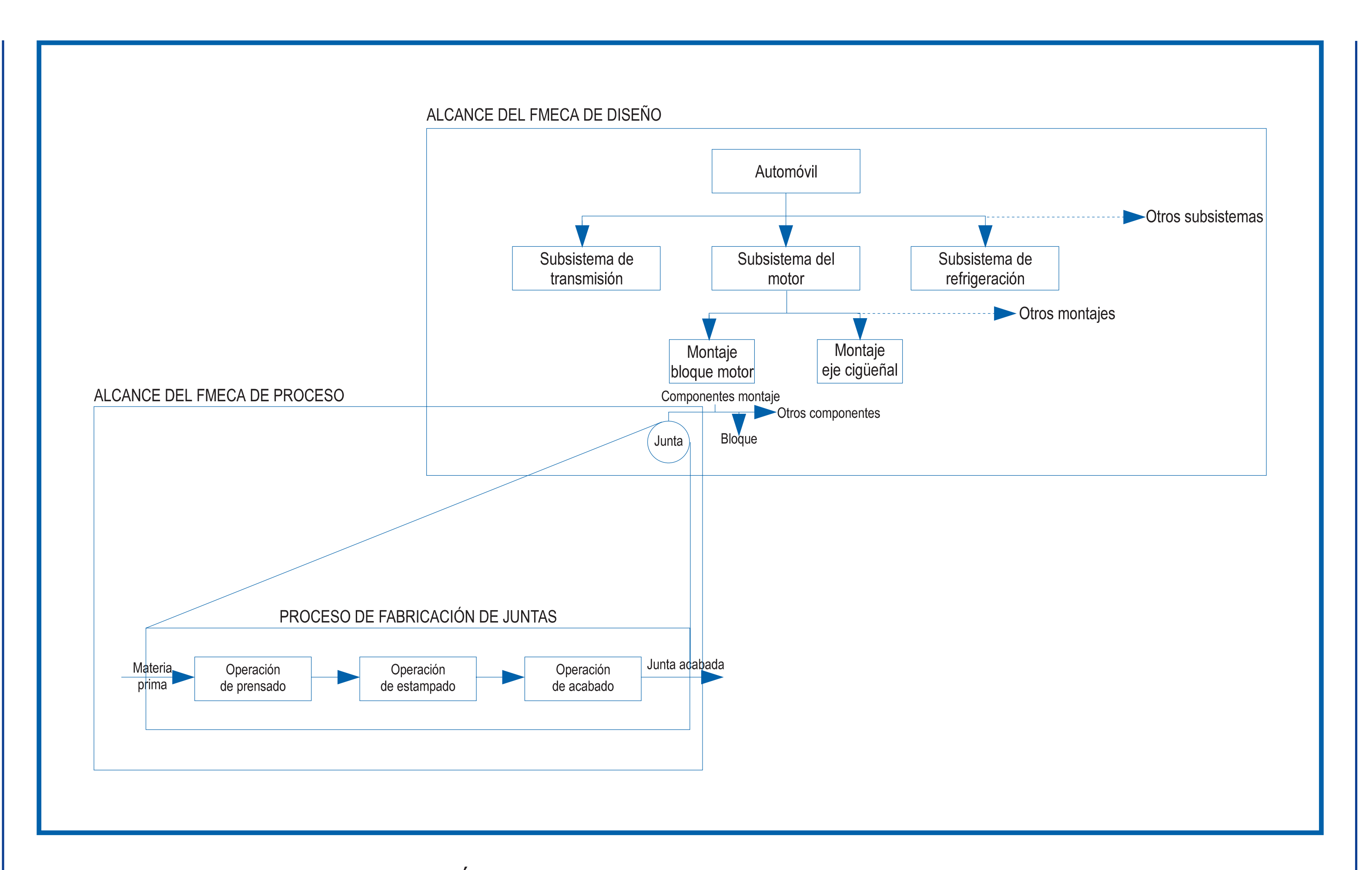


Figura 31. - LA RELACIÓN ENTRE UN FMECA "PROCESO" Y UN FMECA "PRODUCTO" -

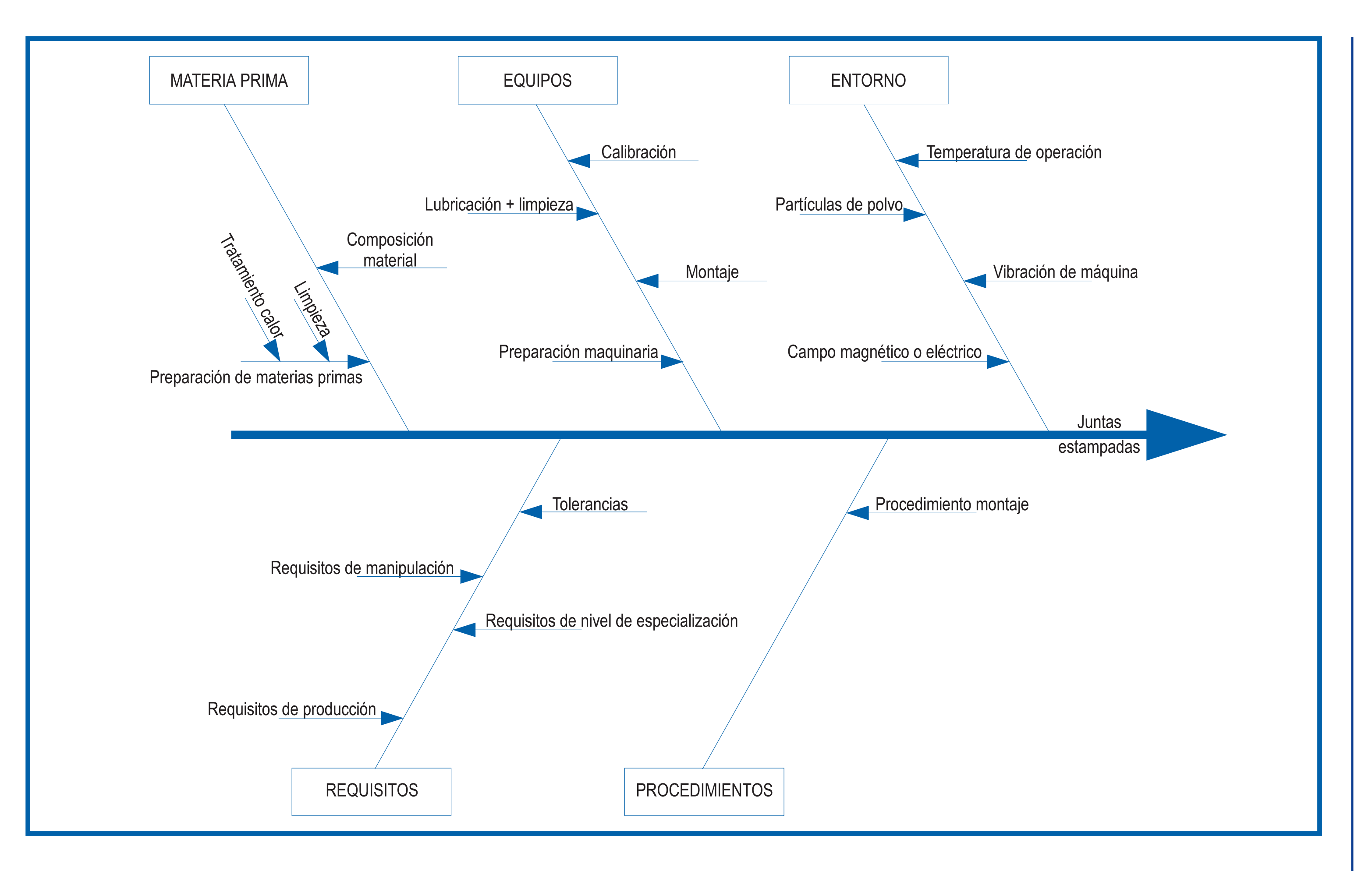


Figura 32. - EL DIAGRAMA ISHIKAWA "CAUSA-EFECTO" -

una jerarquía causal de arriba-abajo con sus probabilidades asociadas. Debe desarrollarse un FTA por separado para cada modo crítico de fallo o evento de alto nivel no deseado [11].

Figura 33 en solapa

La Figura 34 muestra una comparación simplificada entre el FMECA y el FTA. El FMECA es más completo, está orientado al diseño ilustrando relaciones "causa-efecto", y es preferido cuando se trata de conocer más sobre el comportamiento de un sistema y sus componentes y de los riesgos asociados a no cumplir requisitos especificados. Mientras que el FMECA es más completo en términos de evaluación de diseño, los requisitos de entrada de datos pueden ser más amplios. Por otro lado, el FTA utiliza métodos booleanos al analizar diferentes caminos de fallos, y resulta preferido para grandes sistemas, con elevada presencia de software, donde hay muchas interfaces. En cualquier caso, el FMECA y el FTA pueden complementarse mutuamente.

E) **Análisis de Tareas de Mantenimiento**. Suele realizarse durante las fases del diseño preliminar y de detalle, cuando se ha supuesto una configuración determinada y se quiere evaluarla en términos de: (a) sus características inherentes de soportabilidad; y (b) los recursos de apoyo logístico necesarios para el mantenimiento continuado y apoyo de dicha configuración a largo plazo, es decir, recambios y repuestos, equipos de prueba, cantidades de personal y especialización, instalaciones, etc.

Para ilustrar este punto, el organigrama de la Figura 35 describe una capacidad de fabricación que se ha supuesto como la configuración del sistema que estamos evaluando. Mediante la realización de un análisis del coste del ciclo de vida, se ha determinado que la función de prueba de fabricación, representada por el bloque 13, es un contribuidor de «alto coste». Esto se debe principalmente al mantenimiento correctivo que se requiere con frecuencia para mantener operativa la capacidad final de prueba. Se trata de determinar algunas de las «causas» de este elevado coste, y el análisiss de tareas de

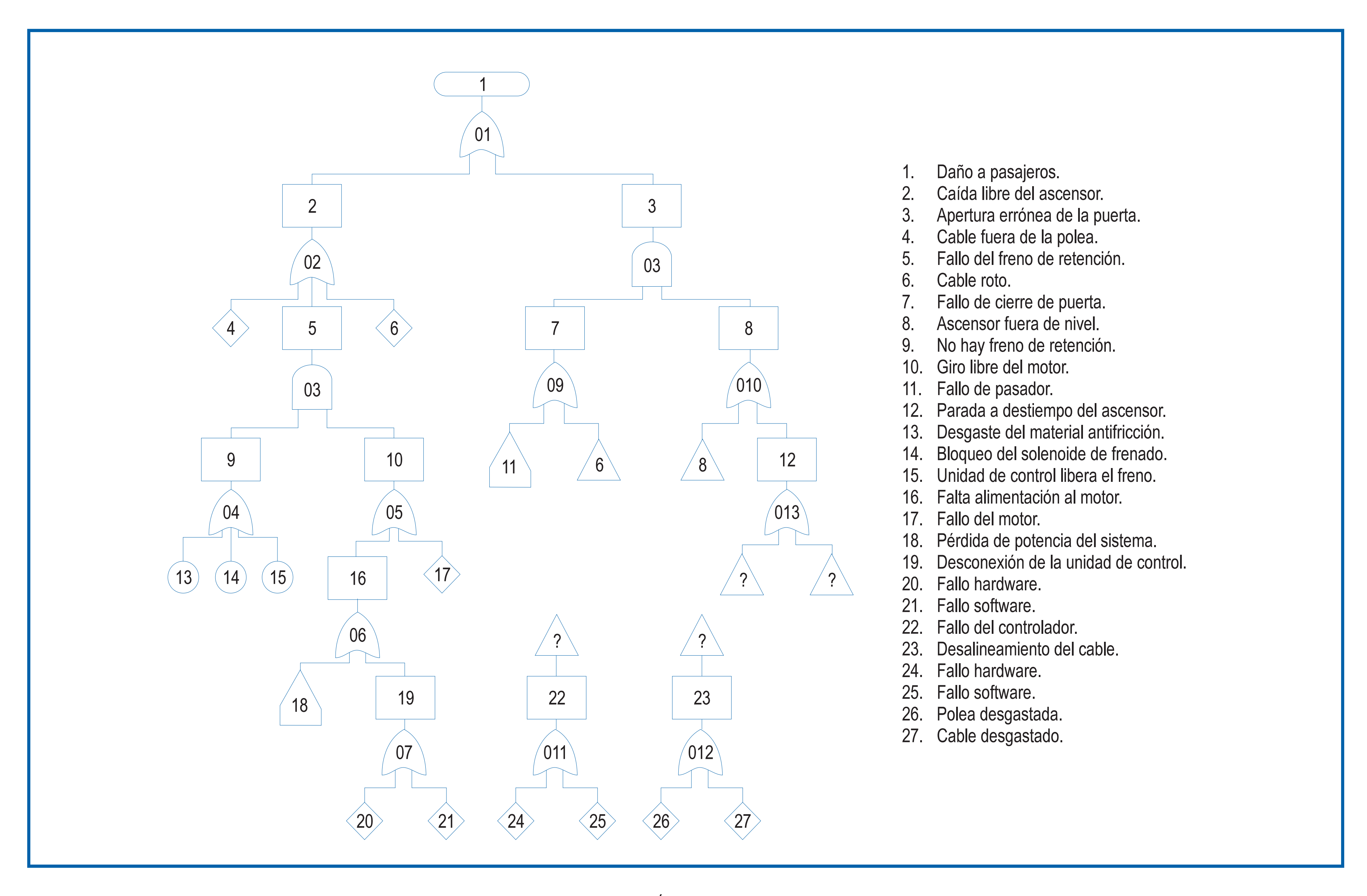


Figura 33. - ÁRBOL DE FALLOS -

ANÁLISIS DE MODELOS DE FALLOS, SU CRITICIDAD Y SUS EFECTOS (FMECA)	ANÁLISIS DE ÁRBOLES DE FALLOS (FTA)
* ANÁLISIS AMPLIO (PROFUNDA COBERTURA DEL SISTEMA Y SUS CARACTERÍSTICAS).	* ANÁLISIS REDUCIDO.
* ENFOQUE PREFERIDO PARA EVALUACIÓN DEL DISEÑO, ESTABLECIENDO RELACIONES "CAUSA-EFECTO", Y PARA IDENTIFICAR GENERADORES DE COSTES ELEVADOS (ALTO RIESGO).	* ENFOQUE PREFERIDO PARA SISTEMAS GRANDES Y COMPLEJOS, CON ALTA PRESENCIA DE SOFTWARE, Y DONDE EXISTAN MUCHAS INTERFACES (POR EJEMPLO, FLUJOS DE DATOS).
* LOS REQUISITOS DE DATOS DE ENTRADA PUEDEN SER ELEVADOS.	* LOS REQUISITOS DE DATOS DE ENTRADA SON MÍNIMOS.
	* FÁCIL DE REALIZAR.

Figura 34. - COMPARACIÓN ABREVIADA FMECA - FTA -

mantenimiento se elabora para identificar las áreas de preocupación. La Figura 36 muestra un organigrama simplificado (derivado del análisis funcional descrito en la Sección 3.1.4) que identifica las tareas de mantenimiento realizadas con mayor frecuencia. Estas tareas se identifican a continuación en la Figura 37 (partes 1 y 2), donde se especifican los recursos de apoyo logístico previstos. Revisando la presentación de datos en la Figura 37, podemos identificar una serie de áreas que admiten modificaciones del diseño para mejorar su soportabilidad. Por ejemplo, se podría rediseñar la configuración para eliminar la necesidad de personal supervisor muy especializado y eliminar la necesidad de utilizar una instalación limpia para la reparación de montaje «A7».

El MTA suele realizarse durante las fases de diseño preliminar y de detalle como actividad de mantenimiento, y como parte inherente del LSA [2, 11, 12 y 18]. Particularmente, en el sector de defensa, el MTA constituye la tarea 401 en MIL-STA-1388-1A [18]. La aplicación más frecuente, como parte del LSA, conduce a la

identificación de los elementos del ILS de la configuración que se evalúa (ver Figura 4). Los resultados se documentan, a su vez, mediante el LSAR.

Por otra parte, uno de los usos más beneficiosos del MTA es su aplicación selectiva en la evaluación de las configuraciones para soportabilidad, al principio del proceso de adquisición, cuando cualquier modificación necesaria para mejorar el sistema tiene un coste mínimo. Si el sistema es diseñado inicialmente para que tenga soportabilidad, es probable que los recursos logísticos necesarios sean mínimos. De todos modos, el MTA (empleado conjuntamente con otras herramientas como el LCCA, predicciones de fiabilidad y mantenibilidad, FMECA, RCM, etc.) puede ser una herramienta básica para el apoyo de las actividades de ingeniería logística.

Figura 35 en solapa

F) **Análisis de nivel de reparación** (Level of Repair Analysis, LORA). Para el desarrollo del concepto de mantenimiento y del análisis funcional (ver Secciones 3.1.2 y 3.1.4), han de tomarse varias decisiones para determinar los esquemas de empaquetado del sistema, el nivel de diagnóstico a incorporar, la aplicación de automatización en vez de recursos humanos para llevar a cabo las funciones asignadas, etc. La Figura 38 muestra algunos factores a tener en cuenta en un LORA; la Figura 39 describe el proceso para realizar un LORA; la Figura 40 refleja los resultados de un LORA en relación con componente pequeño; y la Figura 41 recoge los resultados de un LORA para varios tipos de montajes dentro de un equipo.

El LORA suele elaborarse durante las fases de diseño preliminar y de detalle como una actividad de mantenibilidad inherente al LSA [2, 11, 12, 18]. Una aplicación más común es la evaluación posterior al diseño de una configuración de diseño de un elemento, para determinar si es más viable establecer una capacidad de reparación o para desechar el elemento cuando falle. Por otra parte, el LORA puede aplicarse en determinados casos de manera efectiva al principio del proceso de adquisición como ayuda anterior al diseño para establecer

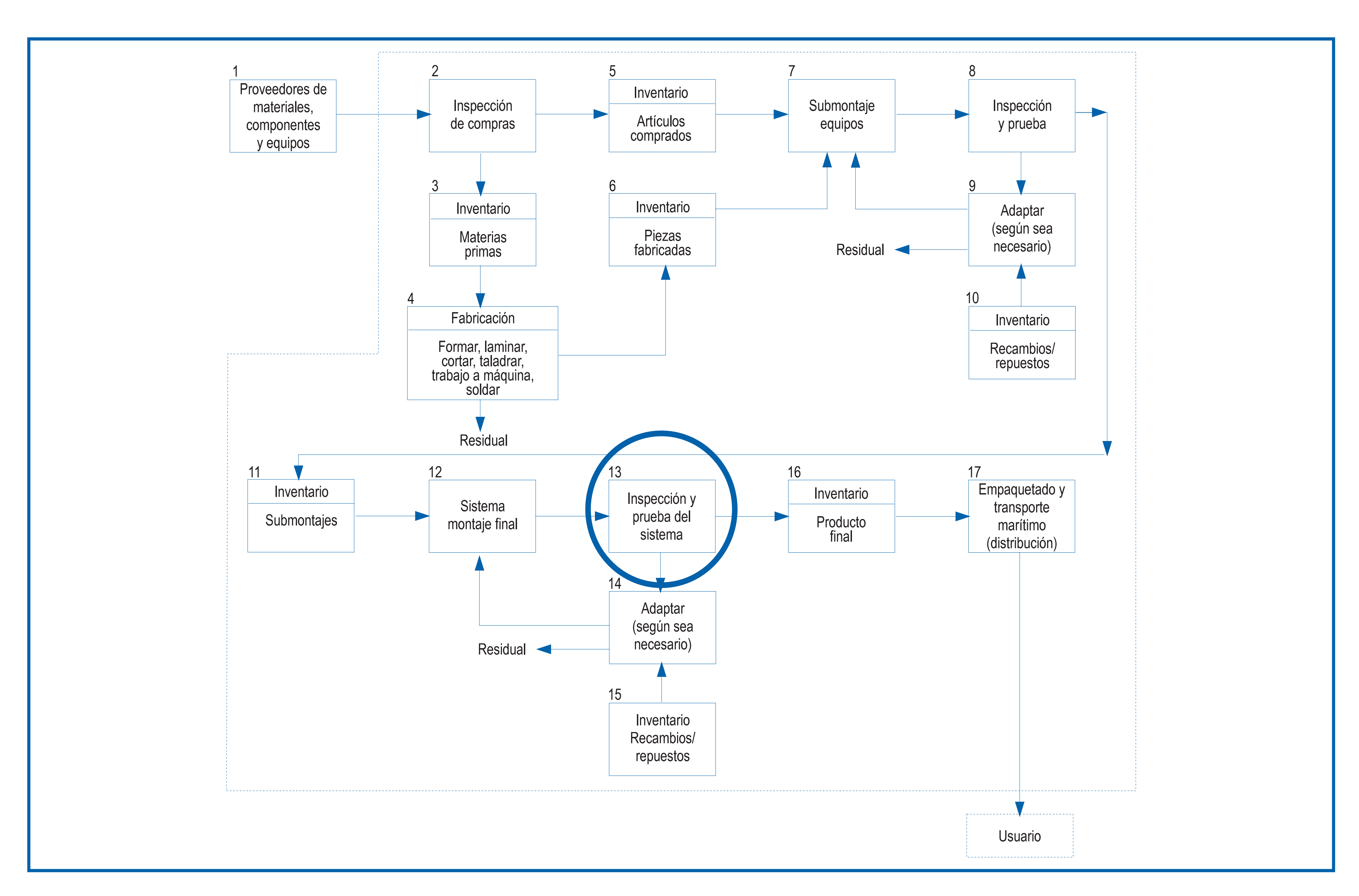


Figura 35. - ORGANIGRAMA SIMPLIFICADO DE CAPACIDAD DE FABRICACIÓN -

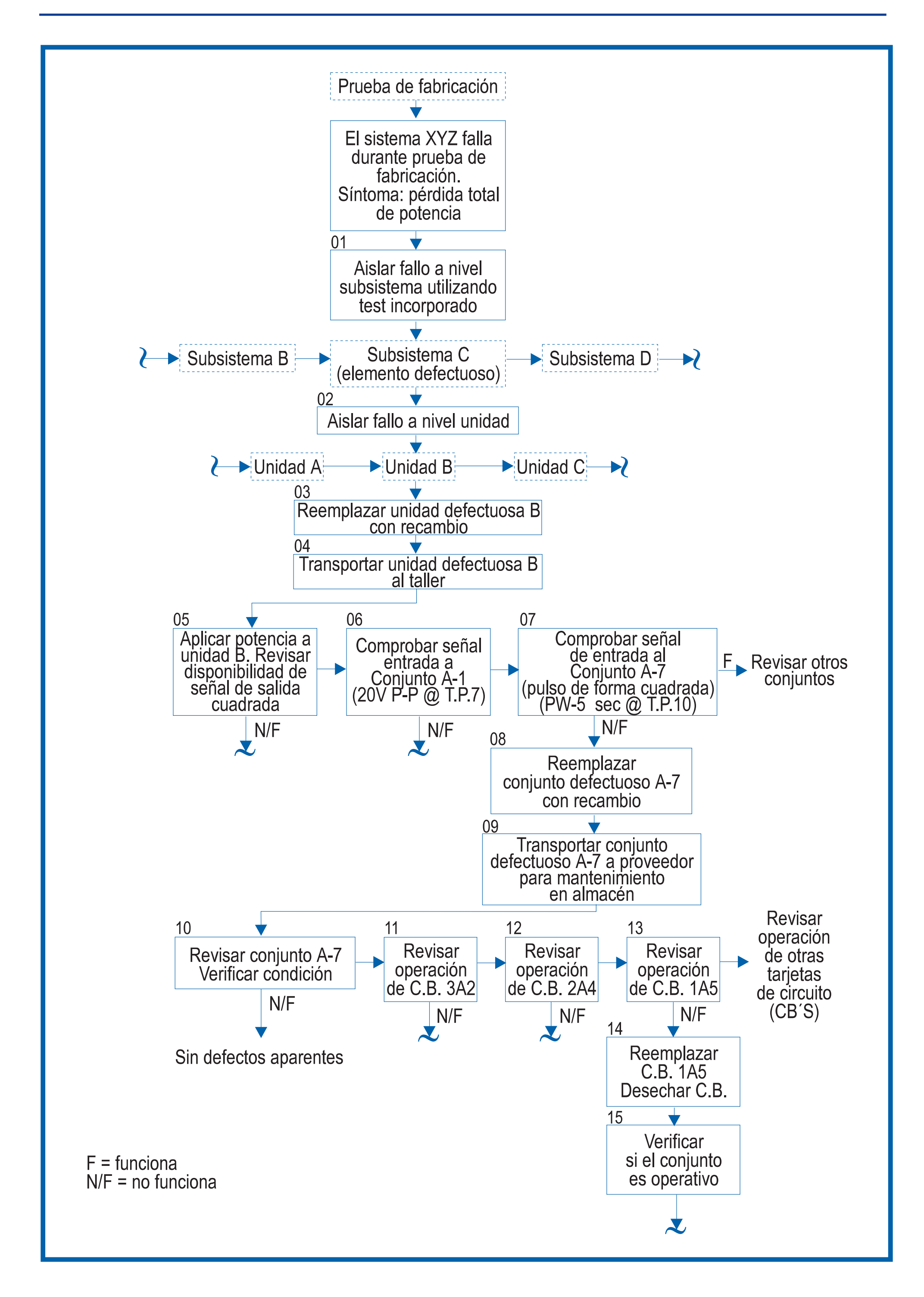


Figura 36. - ORGANIGRAMA DE MANTENIMIENTO -

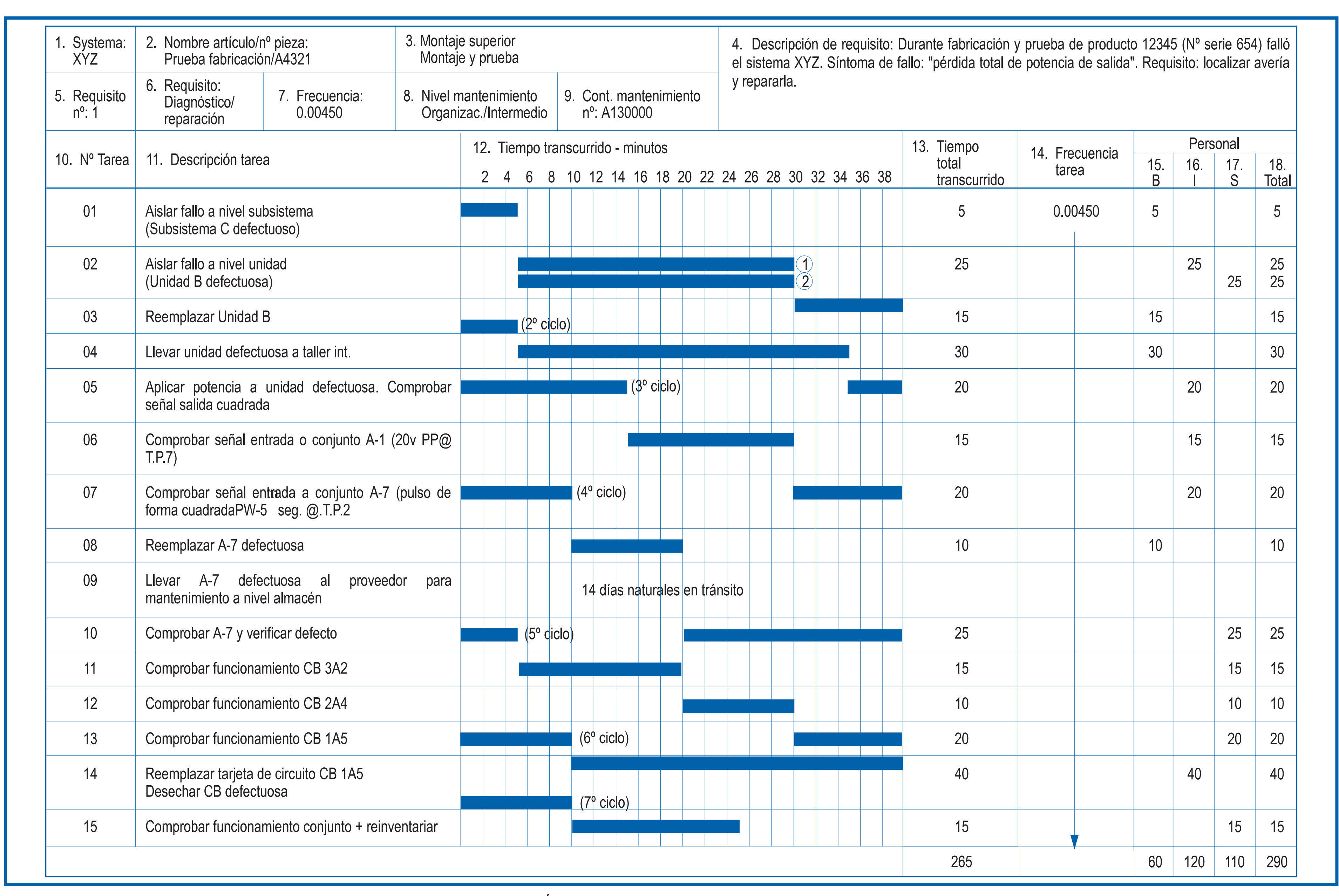
los criterios de diseño; es decir, ¿debe diseñarse un elemento para que sea reparable o para ser desechado al fallar? Debemos señalar la importancia de esta aplicación inicial del LORA para alcanzar los objetivos de la ingeniería logística. Además, es importante utilizar el LORA conjuntamente con el LCCA, MTA, RCM y otros modelos y herramientas descritos en ese estudio.

G) **Mantenimiento centrado en la fiabilidad** (Reliability-Centered Maintenance, RCM). Este análisis, que utiliza los datos del coste del ciclo de vida y el FMECA como datos de entrada, se elabora con el fin de identificar aquellas áreas en las que existe una mayor probabilidad de fallo, y de establecer procedimientos de mantenimiento preventivo para evitar averías catastróficas del sistema mientras desempeña su función. El objetivo consiste en identificar inicialmente los requisitos del mantenimiento preventivo basados en factores de fiabilidad, y posteriormente desarrollar un programa de mantenimiento preventivo óptimo [11, 21].

Figura 37.1, 37.2 en solapa

La Figura 42 muestra una versión simplificada de la lógica que habitualmente se sigue en la realización del RCM. El analista identifica fallos potenciales del sistema (tanto los que son evidentes como los que no lo son). Entonces, a través de una serie de preguntas, se establecen las relaciones "causa-efecto". Cuando los efectos afectan a la seguridad, a una posible reducción de las prestaciones, y/o a aumentos significativos de coste, deben iniciarse acciones correctoras. Estas acciones pueden resultar en rediseño y/o en la iniciación de un requisito de mantenimiento preventivo. Inherente al RCM son los pasos realizados a través del FMECA y que conducen a la definición de actividades de mantenimiento preventivo. La Figura 43 muestra las relaciones del FMECA y del RCM, conducentes al desarrollo del programa de mantenimiento preventivo.

H) **Elementos de la infraestructura de apoyo**. Como hemos dicho anteriormente, el diseño del sistema incluye no solamente los principales elementos relacionados con la misión, sino también la



1. Sistema: XYZ	2. Nombre artículo/nº pieza: Prueba fabricación/A4321		3. Montaje superior Montaje y prueba		4. Descripción de requisito: Durante fabricación y prueba de producto 12345 (Nº serie 654) falló el sistema XYZ. Síntoma de fallo: "pérdida total de potencia de salida". Requisito: localizar avería y repararla.
5. Requisito nº: 1	6. Requisito: Diagnóstico/ reparación	7. Frecuencia: 0.00450	8. Nivel mantenimiento Organizac./Intermedio	9. Cont. mantenimiento nº: A130000	

10. Nº Tarea	11. Descripción tarea	12. Tiempo transcurrido - minutos (2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38)	13. Tiempo total transcurrido	14. Frecuencia tarea	Personal 15. B	16. I	17. S	18. Total
01	Aislar fallo a nivel subsistema (Subsistema C defectuoso)		5	0.00450	5			5
02	Aislar fallo a nivel unidad (Unidad B defectuosa)	1 2	25			25	25	25 25
03	Reemplazar Unidad B	(2º ciclo)	15		15			15
04	Llevar unidad defectuosa a taller int.		30		30			30
05	Aplicar potencia a unidad defectuosa. Comprobar señal salida cuadrada	(3º ciclo)	20			20		20
06	Comprobar señal entrada o conjunto A-1 (20v PP@ T.P.7)		15			15		15
07	Comprobar señal entrada a conjunto A-7 (pulso de forma cuadradaPW-5 seg. @.T.P.2	(4º ciclo)	20			20		20
08	Reemplazar A-7 defectuosa		10		10			10
09	Llevar A-7 defectuosa al proveedor para mantenimiento a nivel almacén	14 días naturales en tránsito						
10	Comprobar A-7 y verificar defecto	(5º ciclo)	25				25	25
11	Comprobar funcionamiento CB 3A2		15				15	15
12	Comprobar funcionamiento CB 2A4		10				10	10
13	Comprobar funcionamiento CB 1A5	(6º ciclo)	20				20	20
14	Reemplazar tarjeta de circuito CB 1A5 Desechar CB defectuosa	(7º ciclo)	40			40		40
15	Comprobar funcionamiento conjunto + reinventariar		15				15	15
			265		60	120	110	290

Figura 37. - ANÁLISIS DE TAREAS DE MANTENIMIENTO (Parte I) -

1. Nombre Artículo/Nº Pieza	2. Requisito Nº.:	3. Requisito:	4. Frecuencia:	5. Nivel Mantenimiento:	6. Cont. Mantenimiento Nº.:
Prueba Fabricación/A4321	01	Diagnóstico y Reparación	0.00450	Organización, Intermedio, Almacén	A120000

7. Tarea Nº	8. Cantidad/ Conjunto	Piezas Recambio: 9. Nomenclatura Pieza / 11. Nº Pieza	10. Frecuencia Repetición	Equipos Pruebas y Apoyo/Manipulación: 12. Cantidad	13. Nomenclatura Pieza de Artículo / 15. Nº Pieza de Artículo	14. Tiempo Uso (min)	16. Descripción de Requisitos de Instalaciones	17. Instrucciones Especiales Datos Técnicos
01	-	-	-	1	EQUIPO PRUEBA INCORPORADO	5	-	MANTENIMIENTO ORGANIZATIVO
02	-	-	-	1	VERIFICADOR ESPECIAL DE SISTEMAS	25	-	
03	1	UNIDAD B180265X	0.01866	1	KIT DE HERRAMIENTAS ESTÁNDAR	15	-	
04	-	-	-	1	CARRO ESTÁNDAR	30	-	MANTENIMIENTO INTERMEDIO
05	-	-	-	1	VERIFICADOR ESPECIAL DE SISTEMAS	20	-	
06	-	-	-	1	VERIFICADOR ESPECIAL DE SISTEMAS	15	-	
07	-	-	-	1	VERIFICADOR ESPECIAL DE SISTEMAS	20	-	
08	1	CONJUNTO 1-7 MO-2378A	0.00995	1	EXTRACTOR ESPECIAL	10	-	VER INSTRUCCIONES ESPECIALES
09	-	-	-	1	CONTENEDOR, MANIPULACIÓN ESPECIAL	14 DÍAS	ENTORNO SALA LIMPIA	ENTORNO NORMAL TRANSPORTE
10	-	-	-	1	VERIFICADOR ESPECIAL DE SISTEMAS	25	-	MANTENIMIENTO PROVEEDOR (ALMACÉN)
11	-	-	-	1	DISPOSITIVO PRUEBA CB	15	-	
12	-	-	-	1	DISPOSITIVO PRUEBA CB	10	-	
13	-	-	-	1	DISPOSITOVO PRUEBA CB	20	-	
14	1	CB-1A5 GDA-221056C	0.00450	1	EXTRACTOR ESPECIAL KIT DE HERRAMIENTAS ESTÁNDAR	40	-	
15	-	-	-	1	VERIFICADOR ESPECIAL DE SISTEMAS	15	-	

Figura 37. - ANÁLISIS DE TAREAS DE MANTENIMIENTO (Parte II) -

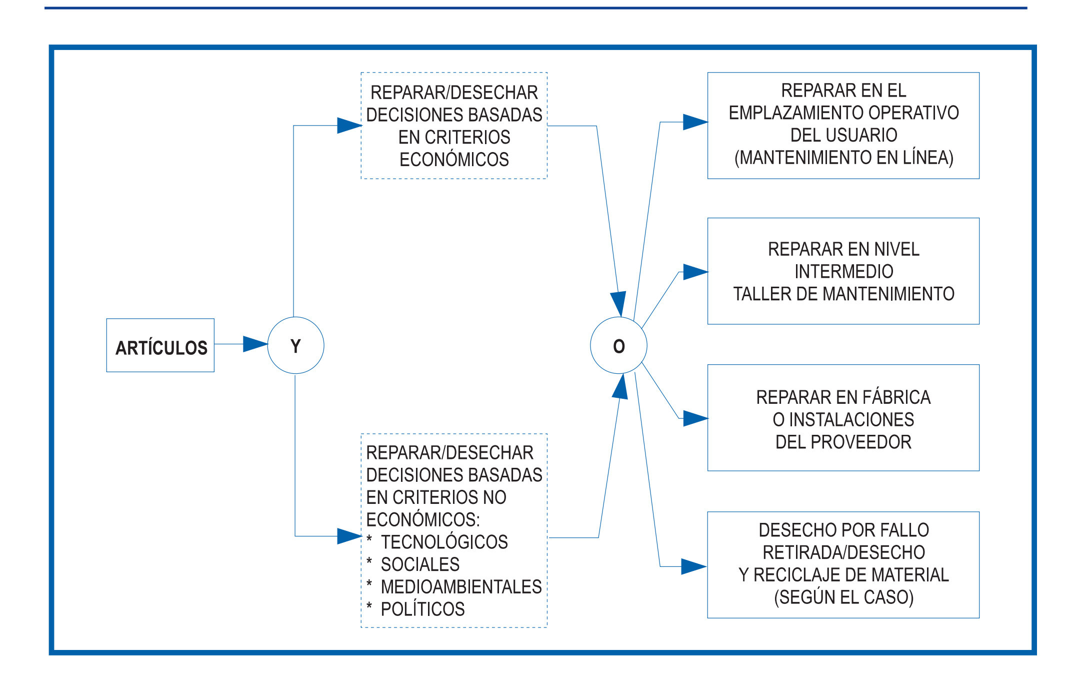


Figura 38. - FACTORES DE DECISIÓN PARA EL ANÁLISIS DE NIVEL DE REPARACIÓN -

infraestructura de apoyo. Por lo tanto, en la ingeniería logística y en el LSA, uno de los principales objetivos consiste en el diseño de la estructura, incluyendo los recambios y repuestos e inventarios de apoyo; el diseño de los equipos de prueba y apoyo; el diseño de la capacidad de transporte; el diseño de las instalaciones de mantenimiento, etc. En el pasado, se ha realizado poco trabajo en este campo; sin embargo, éste es fundamental si se quiere conseguir en el futuro un equilibrio adecuado entre los principales elementos del sistema y sus requisitos de apoyo.

Una de las áreas que requiere mayor atención en esta fase es la evaluación y selección de equipos de prueba y apoyo, para cada uno de los niveles de mantenimiento identificados en la Figura 5. Por ejemplo, los requisitos de equipo para un taller de mantenimiento de nivel intermedio, constituyen con frecuencia una causa principal de costes en el marco de la adquisición y el apoyo del sistema. Por tanto, es imprescindible que en algún momento del LSA evaluemos

las diversas opciones disponibles. La Figura 44 muestra los resultados de la evaluación de tres configuraciones distintas de un centro de pruebas. Se identifican criterios de evaluación, se establecen medidas de prestaciones técnicas (TPM) y factores de ponderación, y se elaboran listas de control para apoyar el proceso global de evaluación [2].

Figura 39 40 en solapa

3.2.3. Registro de análisis de apoyo logístico

El LSAR se refiere a los datos de salida obtenidos en de las actividades del LSA. Como refleja la Figura 45 se desarrollan datos de diseño y se presentan en la forma de diagramas, croquis, listados de materiales y piezas, informes de los análisis de evaluación y gráficos ilustrativos. Estos datos, que describen la configuración del diseño del sistema en un momento determinado, se emplean en los LSA para desarrollar el tipo de información reflejada en la Figura 23. Esto a su vez se presenta a través de diversos informes, de los que la Figura 46 muestra algunos ejemplos. La Figura 47 muestra las relaciones entre estos informes en términos del flujo de datos. La integración y el procesamiento final de estos datos se realizan mediante la estructura de la base de datos de adquisición y apoyo continuado durante el ciclo de vida (Computer-Aided Acquisition and Logistics Support, CALS) descrita en la Sección 3.2.4.

El desarrollo e implementación del LSAR, el formateado de los informes incluídos en el mismo, y la estructura del flujo de datos deben ser adaptados no solamente a los requisitos específicos del sistema en cuestión, sino también a la organización que vaya a utilizar esta información para la obtención y adquisición de los elementos de apoyo logístico; por ejemplo, el aprovisionamiento de los recambios y repuestos y del equipo de apoyo. En los Estados Unidos, se ha desarrollado el estándar MIL-STD-1388-2B para que cumpla los requisitos del LSAR, y en él se incluyen más de cien informes individuales para satisfacer una gran variedad de necesidades de

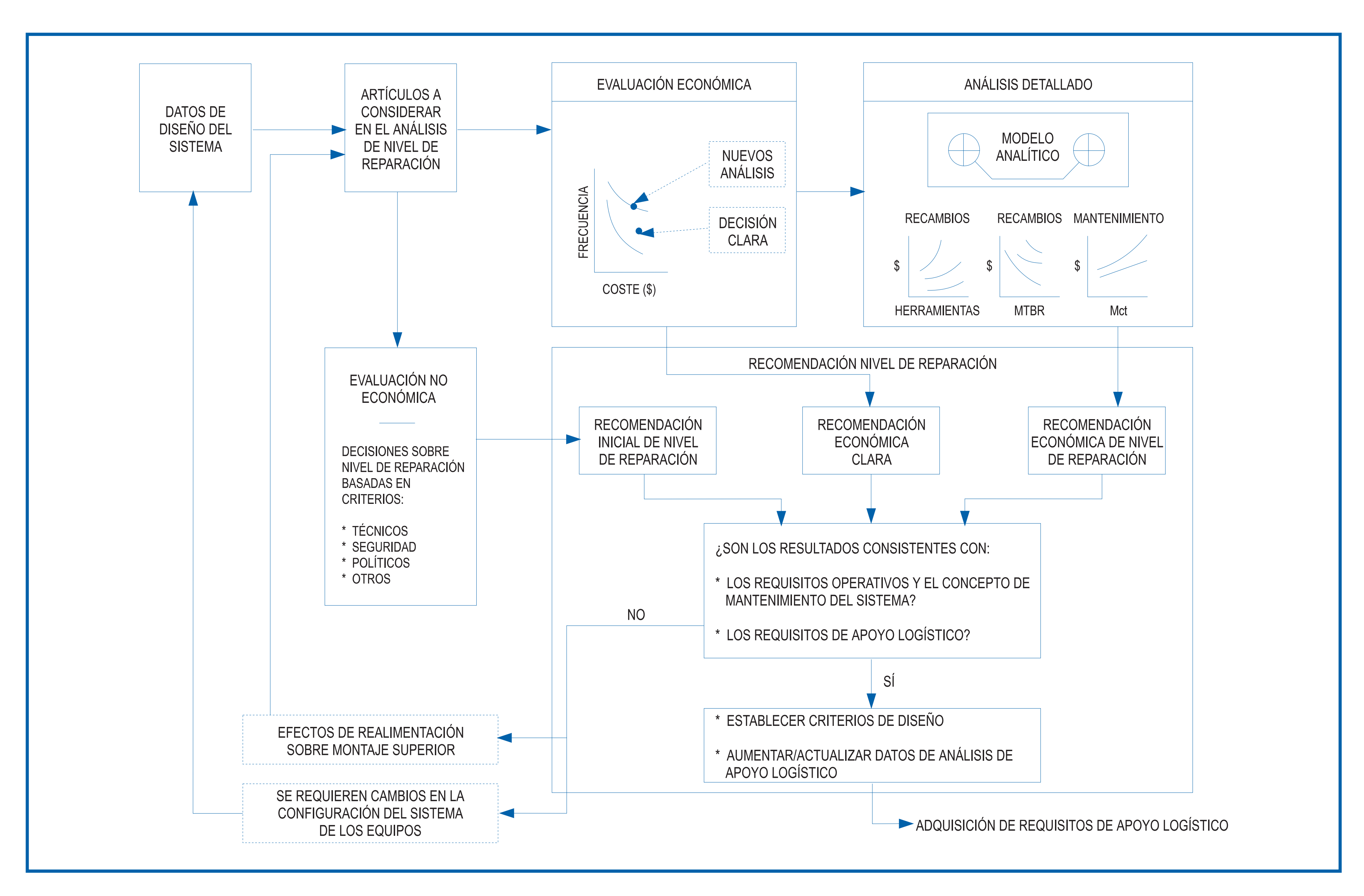


Figura 39. - PROCESO DEL ANÁLISIS DE NIVEL DE REPARACIÓN -

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	REPARACIÓN NIVEL INTERMEDIO COSTE ($)	REPARACIÓN NIVEL ALMACÉN COSTE ($)	DESECHO POR FALLO COSTE ($)	DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN
1. COSTE ESTIMADO DE ADQUSICIÓN DEL CONJUNTO A-1 (INCLUIDOS: DISEÑO Y DESARROLLO, COSTE DE PRODUCCIÓN)	1.700/CONJUNTO O 102.000 (47,8 %)	1.700/CONJUNTO O 102.000 (54,7 %)	1.600/CONJUNTO O 96.000 (19,5 % %)	EL COSTE DE ADQUISICIÓN SE BASA EN 60 SISTEMAS. LOS COSTES DE DISEÑO Y PRODUCCIÓN SON MENORES EN CASO DE DESECHO (CONFIGURACIÓN SIMPLIFICADA).
2. COSTE MANO DE OBRA DE MANTENIMIENTO	12,240 (5,7 %)	18.360 (9,8 %)	NO APLICABLE	BASADO EN 452.800 HORAS DE OPERACIÓN Y UNA TASA DE MANTENIMIENTO DE 0.00045, EL Nº ESTIMADO DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO ES 204. CUANDO SE REALIZAN REPARACIONES, SE ASIGNA UN (1) TÉCNICO A JORNADA COMPLETA. TIEMPO DE REALIZACIÓN DE MANTENIMIENTO = 3 HORAS. EL COSTE DE MANO DE OBRA ES DE ·$ 20/HORA (INTERMEDIO) Y DE $ 30/HORA (FABRICANTE).
3. APOYO - CONJUNTOS DE RECAMBIO	8.500 (4 %)	17.000 (9.1 %)	326.400 (66,4 %)	PARA REALIZAR EL MANTENIMIENTO INTERMEDIO, SE REQUIEREN 5 CONJUNTOS DE REPUESTO PARA COMPENSAR TIEMPO DE CARGA/DESCARGA, LISTA DE ESPERA, ETC. SE REQUIEREN 10 CONJUNTOS DE REPUESTOS PARA EL MANTENIMIENTO EN ALMACÉN. 100 % REPUESTOS EN CASO DE DESECHO.
4. COMPONENTES DE RECAMBIO	10.200 (4,8 %)	10.200 (5,5 %)	NO APLICABLE	SUPONE $ 50 POR ACCIÓN DE MANTENIMIENTO.
5. MANTENIMIENTO DEL INVENTARIO		5.440 (2,9 %)	65.280 (13.3 %)	SUPONE 20 % DEL VALOR DE INVENTARIO (CONJUNTOS Y COMPONENTES DE REPUESTO).
6. EQUIPOS ESPECIALES DE PRUEBA Y APOYO	3.740 (1,8 %)	12.000 (6,4 %)	NO APLICABLE	SE REQUIEREN EQUIPOS ESPECIALES DE PRUEBA EN CASO DE REPARACIÓN. COSTE DE ADQUISICIÓN: $ 12.000 POR INSTALACIÓN. HAY CINCO (5) INSTALACIONES EN EL NIVEL INTERMEDIO Y UNO (1) EN EL ALMACÉN.
7. TRANSPORTE Y MANIPULACIÓN	INSIGNIFICANTE	12.240 (6,6 %)	NO APLICABLE	LOS COSTES DE TRANSPORTE EN EL NIVEL INTERMEDIO SON INSIGNIFICANTES. PARA MANTENIMIENTO EN EL ALMACÉN, CALCULAR 408 VIAJES DE IDA A $ 150/100 LIBRAS. CADA CONJUNTO PESA 20 LIBRAS.
8. FORMACIÓN DE PERSONAL DE MANTENIMIENTO	4.500 (2.1 %)	900 (0,5 %)	NO APLICABLE	CALCULAR 10 ESTUDIANTES DURANTE 3 DÍAS A $150/ESTUDIANTE/DÍA PARA INTERMEDIO, Y 2 ESTUDIANTES DURANTE 2 DÍAS A $ 150/ESTUDIANTES/DÍA PARA ALMACÉN.
9. INSTALACIONES DE MANTENIMIENTO	5.612 (2,9 %)	1.918 (1 %)	NO APLICABLE	CALCULAR $ 1.00/HOMBRE/HORA MANTENIMIENTO DIRECTO PARA INTERMEDIO Y $ 1.50/HOMBRE/HORA MANTENIMIENTO DIRECTO PARA ALMACÉN. SUPONER TAMBIÉN UN COSTE FIJO INICIAL DE $ 1.000/INSTALACIÓN.
10. DATOS TÉCNICOS	6.100 (2,9 %)	6.100 (3,3 %)	NO APLICABLE	EN CASO DE REPARACIÓN; CALCULAR $ 1.000 PARA EL COSTE DE PREPARACIÓN DE INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO. CALCULAR $ 25 POR ACCIÓN DE MANTENIMIENTO PARA DATOS DE MANTENIMIENTO.
11. DISPOSICIÓN	408 (0,2 %)	408 (0,2 %)	4.080 (0,8 %)	SUPONER ·$ 20 POR CONJUNTO Y $ 2 POR COMPONENTE.
COSTE TOTAL ESTIMADO	$ 213.300	$ 186.566	$ 491.760	

Figura 40. - EVALUACIÓN: ¿REPARACIÓN O DESECHO? (Conjunto "A-1") -

Nº DE CONJUNTO	POLÍTICA DE REPARACIÓN			DECISIÓN
	REPARACIÓN NIVEL INTERMEDIO	REPARACIÓN EN ALMACÉN	DESECHO POR FALLO	
A-1	$ 213,300	$ 186,566	$ 491,760	Reparar-almacén
A-2	130,800	82,622	75,440	Desechar
A-3	215,611	210,420	382,452	Reparar-almacén
A-4	141,633	162,912	238,601	Reparar-intermedio
A-5	132,319	98,122	121,112	Reparar-almacén
A-6	112,189	96,938	89,226	Desechar
A-7	125,611	142,206	157,982	Reparar-intermedio
A-8	99,812	131,413	145,662	Reparar-intermedio
A-9	128,460	79,007	66,080	Desechar
A-10	167,400	141,788	314,560	Reparar-almacén
A-11	185,850	142,372	136,740	Desechar
A-12	135,611	122,453	111,502	Desechar
A-13	105,667	113,775	133,492	Reparar-intermedio
A-14	111,523	89,411	99,223	Reparar-almacén
A-15	142,119	120,813	115,723	Desechar
Coste de la Decisión	$ 2,147,905	$ 1,920,808	$ 2,679,555	Reparar-almacén

Figura 41. - RESUMEN DE DECISIONES
SOBRE NIVEL DE REPARACIÓN PARA UN EQUIPO -

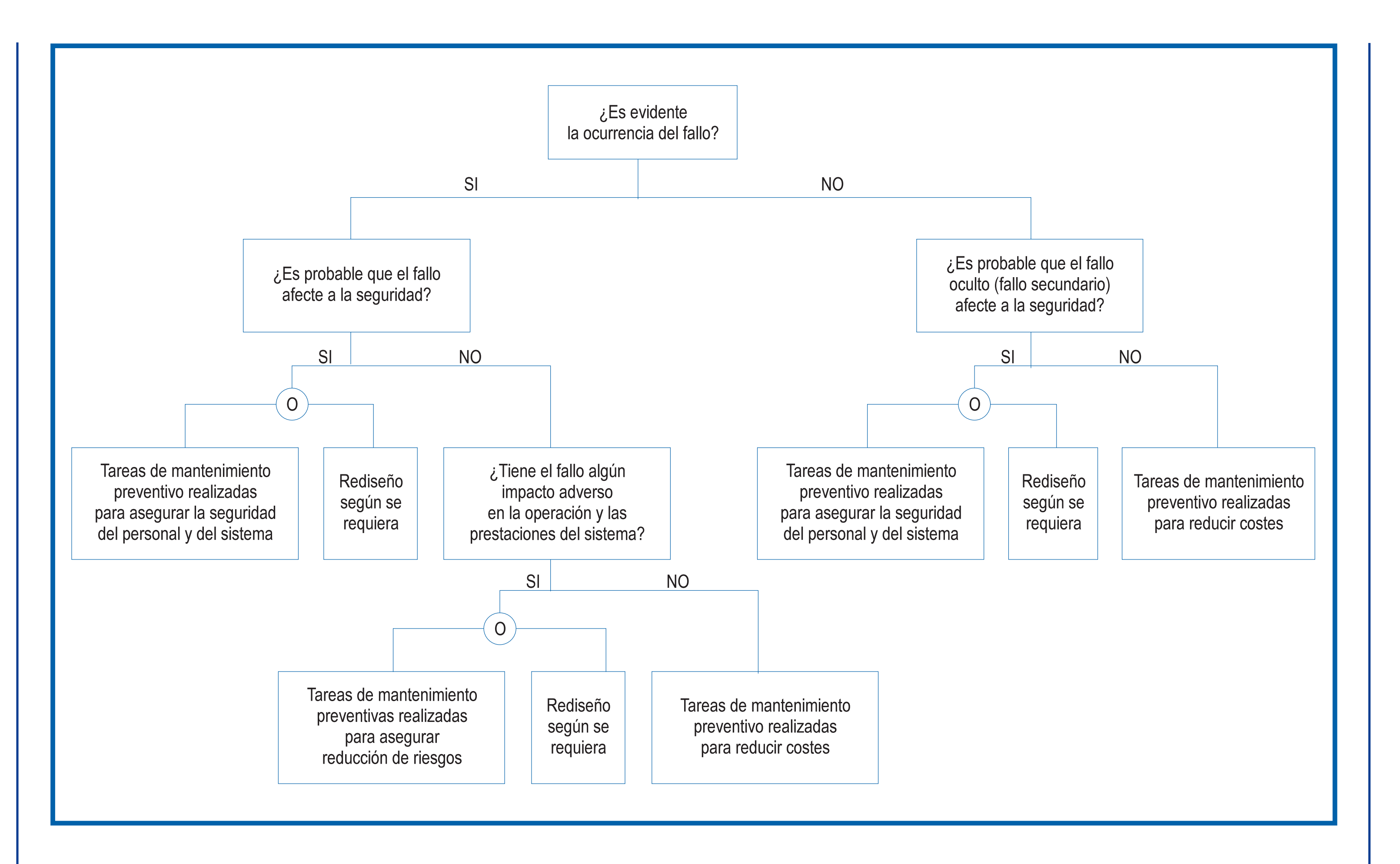


Figura 42 - ÁRBOL LÓGICO DE RCM -

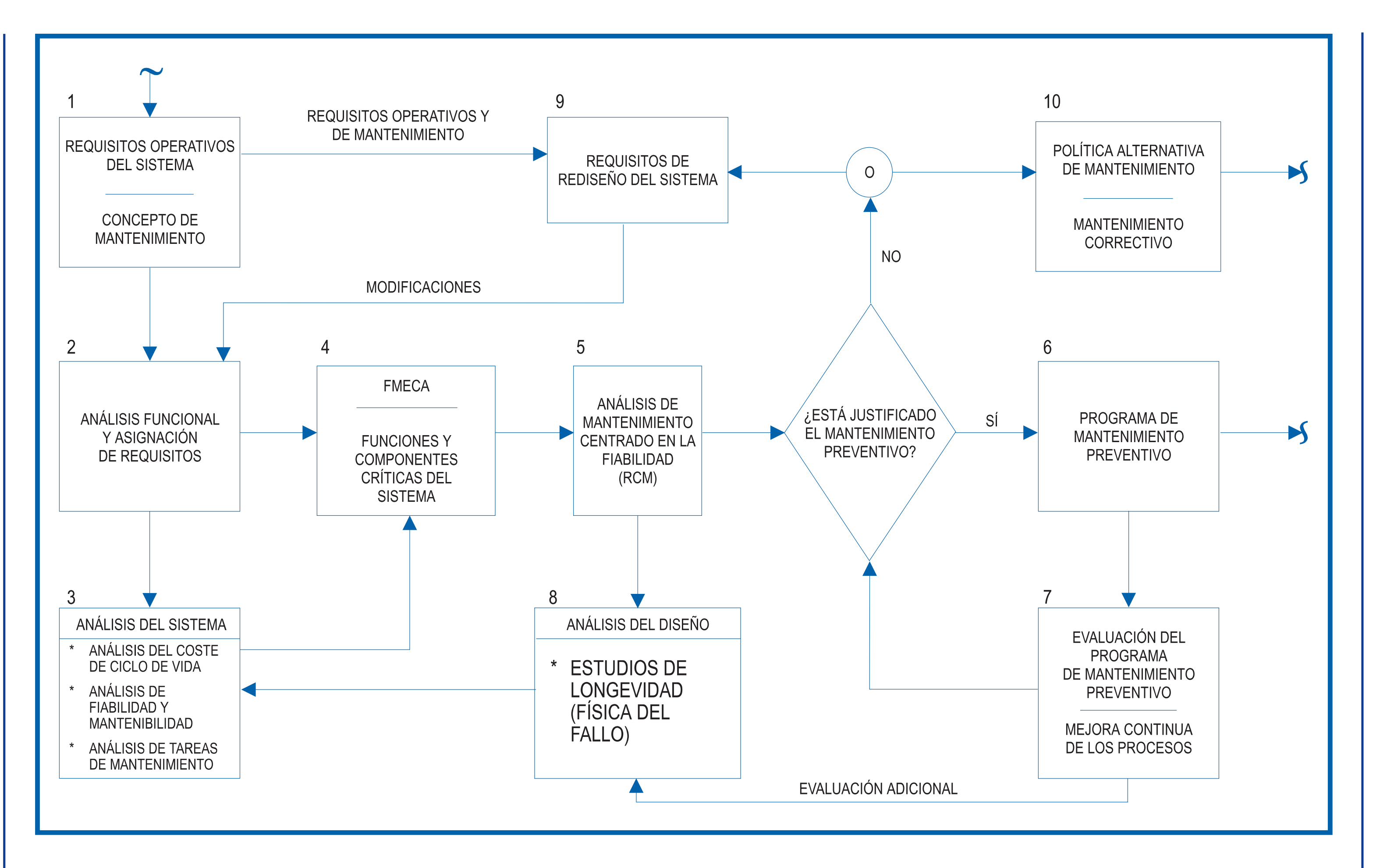


Figura 43. - INTEGRACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO -

PUNTO	PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	FACTOR PESO	Configuración A		Configuración B		Configuración C	
			Tipo Base	Puntuación	Tipo Base	Puntuación	Tipo Base	Puntuación
1	PRESTACIONES - Entrada, salida, precisión, alcance, compatibilidad.	14	6	84	9	126	3	42
2	OPERATIVIDAD - Simplicidad y facilidad de operación.	4	10	40	7	28	4	16
3	EFECTIVIDAD - Ao, MTBM, Mct, Mpt, MDT, MMH/OH.	12	5	60	8	96	7	84
4	CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO - Fiabilidad, mantenibilidad, factores humanos, soportabilidad, manufacturabilidad, intercambiabilidad.	9	8	72	6	54	3	27
5	DATOS DE DISEÑO - Croquis, especificaciones, datos logísticos, procedimientos de operación y mantenimiento.	2	6	12	8	16	5	10
6	MATERIAL DE PRUEBAS - Equipos de pruebas comunes y estandar, estándares de calibración, programas informáticos de mantenimiento y diagnóstico.	3	5	15	8	24	3	9
7	INSTALACIÓN Y SERVICIOS - Espacio, peso, volumen, entorno, potencia, calor, agua, aire acondicionado.	5	7	35	8	40	4	20
8	RECAMBIOS/REPUESTOS - Tipo y número de piezas, piezas estandar, tiempo de adquisición.	6	9	54	7	42	5	30
9	POTENCIAL DE FLEXIBILIDAD/CRECIMIENTO - Para aceptabilidad de reconfiguración, cambio de diseño.	3	4	12	8	24	6	18
10	CALENDARIO - Investigación y desarrollo, producción.	17	7	119	8	136	9	153
11	COSTE - Ciclo de Vida (I + D, inversión, O + M).	25	10	250	9	225	5	125
SUBTOTAL				753		811		534
FACTOR DE DEVALUACIÓN (Riesgo de Desarrollo)				113 15 %		81 10 %		197 20 %
TOTAL		100		640		730		427

Figura 44. - EVALUACIÓN DE CENTROS ALTERNATIVOS DE PRUEBA -

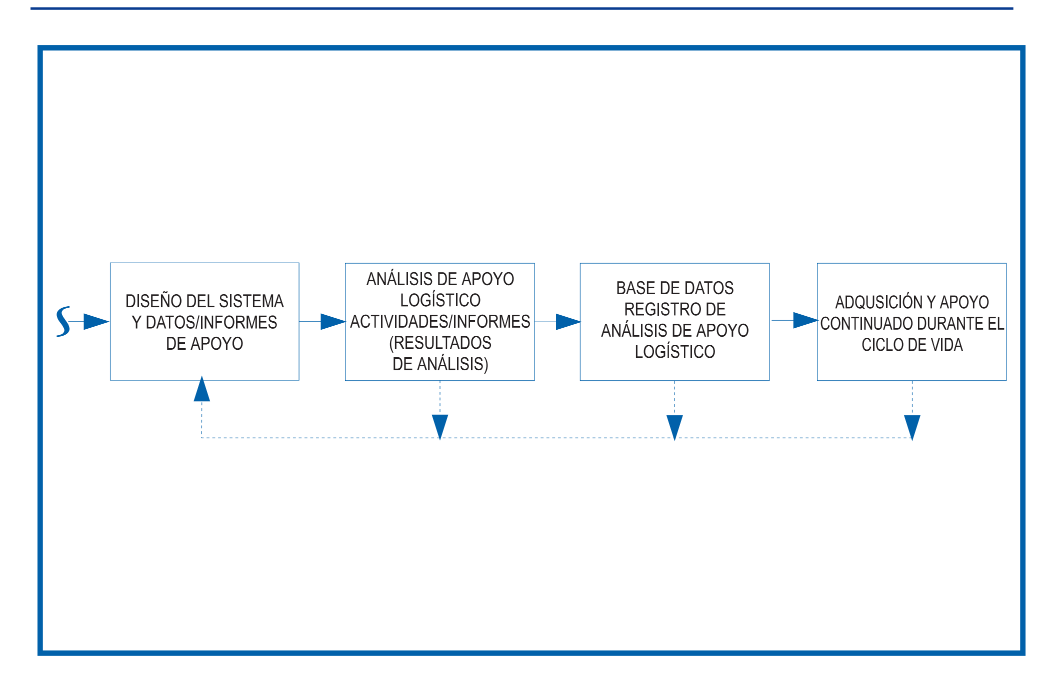


Figura 45. - FLUJO DE INFORMACIÓN LOGÍSTICA -

DESCRIPCIÓN
REQUISITOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
CARACTERÍSTICAS DE FIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD DE ELEMENTOS
ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO Y SUS EFECTOS
ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y MANTENIBILIDAD
RESUMEN DE TAREAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
ANÁLISIS DE TAREAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
REQUISITOS DE PERSONAL Y APOYO
DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE EQUIPOS DE APOYO Y MATERIAL DE FORMACIÓN
DESCRIPCIÓN DE UNIDAD EN PRUEBA, PROGRAMA AUTOMÁTICO DE PRUEBA Y MATERIAL DE FORMACIÓN
DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE INSTALACIONES
EVALUACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE CAPACIDADES
IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS DE APOYO
IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS DE APOYO (RELACIONADOS CON LA APLICACIÓN)
CARACTERÍSTICAS DE INGENIERÍA DE TRANSPORTABILIDAD

Figura 46. - EJEMPLO DE INFORMES LSAR -

sistemas [19]. Se debe tener un cuidado extremo en la aplicación de este estándar al proceso de adquisición de sistemas, con el fin de especificar la clase y la cantidad adecuada de datos en el momento oportuno, y de acuerdo con el nivel de definición del sistema. En muchos casos, se aplica esta pauta ciegamente sin adaptarla a las necesidades en cuestión, y ello resulta en costes elevados; por ejemplo, demasiados datos, demasiado pronto en el proceso de adquisición, excesivas redundancias, etc.

Fig 47 en soalpa

Conviene subrayar la importancia de «adaptar» el LSAR a la estructura orgánica del usuario. Por ejemplo, el MIL-STD-1388-2A se desarrolló inicialmente para cubrir las necesidades del Departamento de Defensa de los E.E.U.U., pero puede resultar inapropiado aplicar este estándar «per se» en el entorno de España, Japón, Sudamérica, etc. A pesar de que existen conceptos o procesos comunes, es esencial un método adaptado especialmente a las necesidades de cada entorno. El desarrollo del estándar DEF STAN 00-60 del Reino Unido «Apoyo Logístico Integrado» y el de la norma AECMA Spec 2000M «Estándar Internacional para Gestión de Materiales», reflejan hasta cierto punto esta necesidad.

3.2.4. Adquisición y apoyo continuado durante el ciclo de vida

En el pasado, para muchos sistemas se ha generado un volúmen considerable de LSAR, de datos/documentación relacionados, elaborado a destiempo, difícil de procesar y con algunas redundancias. Han existido muchos requisitos individuales de datos, parecidos en cuanto a contenido, y desarrollados con frecuencia de manera independiente, lo cual ha resultado en un flujo de datos considerable. Se ha reconocido la necesidad de simplificar el proceso de flujo de datos, reducir el tiempo del proceso de datos y reducir los costes globales de adquisición de datos.

Como respuesta a lo anterior, a mediados de la década de los

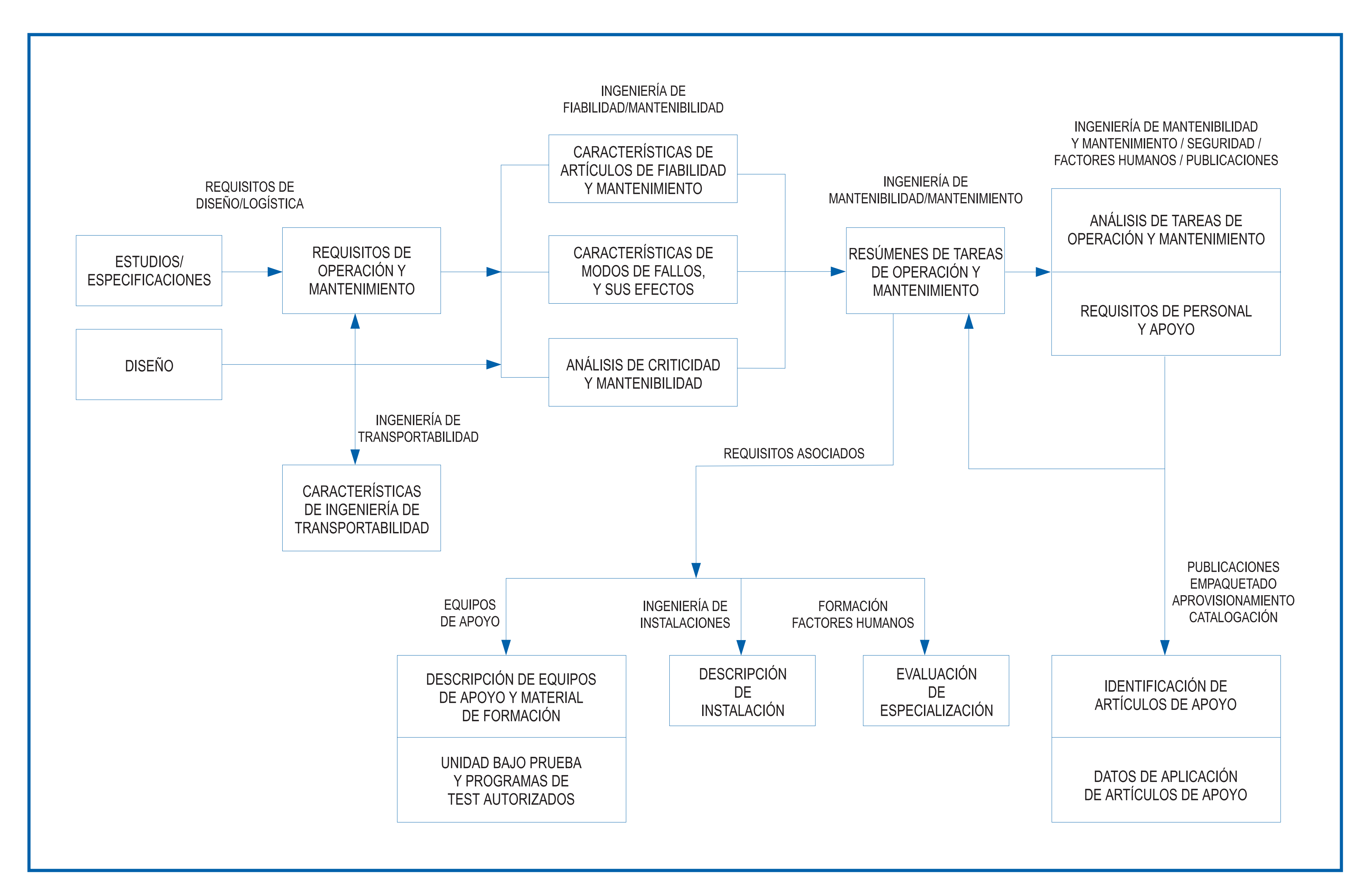


Figura 47. - FLUJO DE DATOS LSAR -

ochenta nació el concepto de «adquisición y apoyo continuado durante el ciclo de vida» (CALS), el cual se está implementando actualmente en varios programas en mayor o en menor medida. CALS trata de la aplicación de la tecnología informática al desarrollo de datos y documentación, principalmente en formato digital. El enfoque CALS fomenta la integración de datos mediante el empleo de una estructura de base de datos compartida, como la de la Figura 48. Respecto a la aplicación de métodos de CALS, la preparación, el almacenamiento, la recuperación y presentación de LSAR y datos de apoyo se han subrayado al máximo. Con relación a la Figura 49, uno de los objetivos futuros consiste en fomentar el flujo de información entre las actividades asociadas con CALS, CAD y CAM. El tema de CALS se estudia con mayor detalle en la sexta monografía de esta serie.

3.3. Diseño para soportabilidad

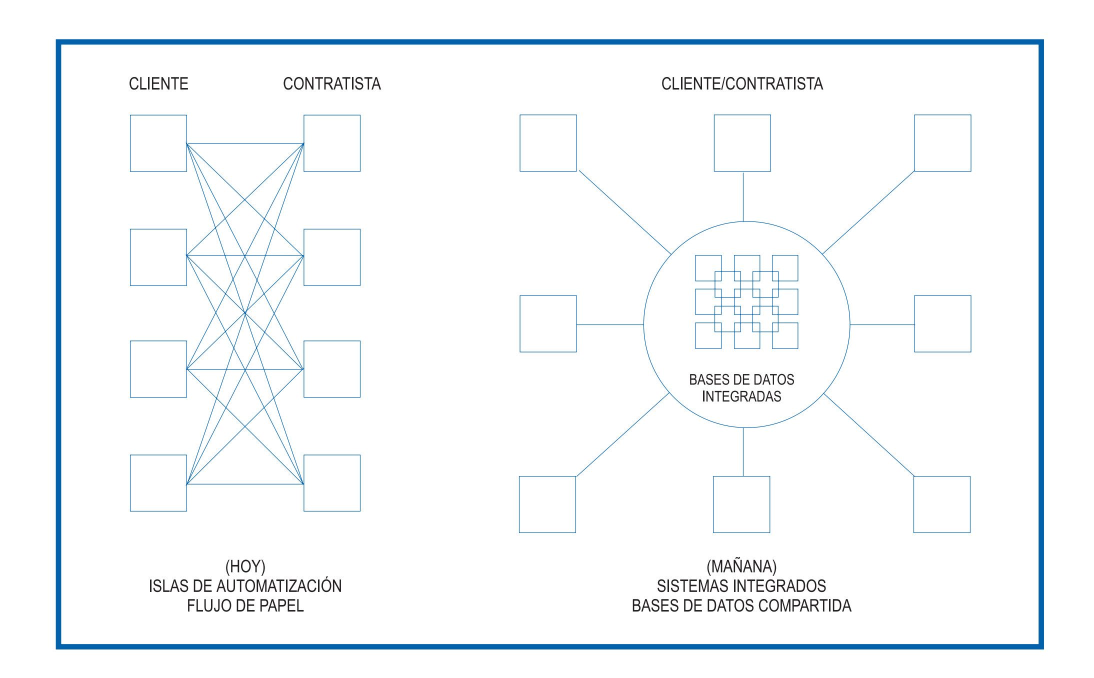


Figura 48. - EL CONCEPTO CALS DE INTEGRACIÓN DE DATOS -

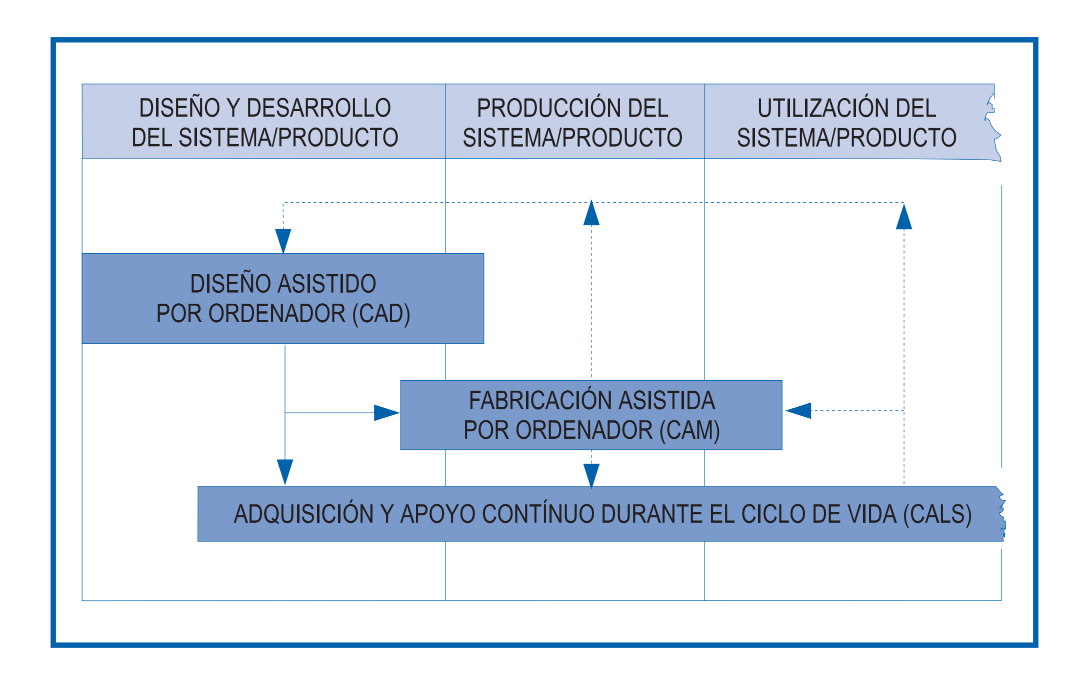


Figura 49. - APLICACIÓN DE CALS EN EL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA -

Dentro del apoyo logístico integrado y de la ingeniería logística existe un requisito de diseño; es decir, el diseño de los principales elementos del sistema orientados a la misión, para que éste pueda ser apoyado, y el diseño de la infraestructura de apoyo que permita un apoyo efectivo y eficaz del sistema durante su ciclo de vida proyectado. Refiriéndonos a la Figura 50, existen muchas características a tener en cuenta, y los resultados han de ser equilibrados de forma adecuada e integrados en el producto final. El grado de énfasis variará según el tipo de sistema y la misión del mismo, reflejándose en los requisitos descritos en la especificación del sistema tipo «A» (ver la Sección 3.1.5).

A la hora de definir los requisitos que aseguren la soportabilidad, hay que tener en cuenta dos áreas básicas:

A. Las características internas del diseño de los equipos, materiales, software e instalaciones. Los esquemas del empaquetado de los equipos y software, la incorporación de dispositivos de

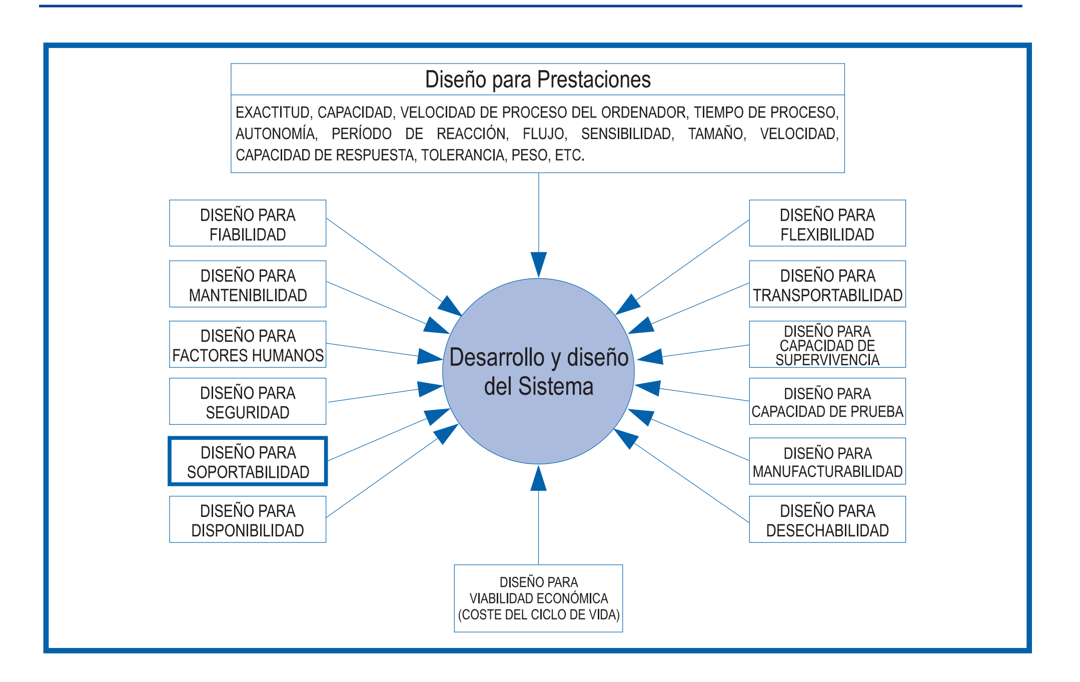


Figura 50. - REQUISITIOS DEL DISEÑO DEL SITEMA -

diagnóstico y auto-chequeo, la utilización de piezas comerciales y estándar, el diseño de la accesibilidad para la realización del mantenimiento, el etiquetado, etc., son algunos ejemplos. Se trata de incorporar las características de fiabilidad, mantenibilidad y ergonomía, tanto en los elementos principales del sistema como en el diseño del equipo de apoyo, software de mantenimiento y cuestiones similares [2, 6, 11].

B. Los factores externos de apoyo, incluyendo elementos logísticos identificados en la Figura 4. Estos tratan de la disponibilidad del tipo y de la cantidad adecuados de piezas de recambio y repuesto e inventarios asociados; de tener una estructura establecida de reabastecimiento y las fuentes necesarias de suministros; de tener los datos y procedimientos adecuados para apoyar las actividades de operación de mantenimiento del sistema; de tener el número y especialización apropiados de personal; de tener las instalaciones necesarias, etc.

La incorporación satisfactoria de características de soportabilidad en el diseño del sistema depende, en gran medida, de la estructura organizativa del proyecto, y de que tanto el personal de ingeniería como el de gestión reconozcan la importancia de la logística y la necesidad de tenerla en cuenta desde el principio. Según se muestra en la Figura 51, se establecen inicialmente los requisitos de apoyo logístico (ver la Sección 3.1), a continuación comienza el trabajo del diseño con el diseño conceptual, y luego se lleva a cabo el diseño detallado hasta la producción. Un buen diseño requiere un trabajo en equipo, en el que debe estar representada la logística. Es deseable que los miembros del departamento de logística trabajen al lado de los otros ingenieros responsables del diseño, de modo que exista una comunicación fluida desde el primer momento entre la comunidad de diseño y los especialistas en logística. A pesar de que la comunicación a través de medios electrónicos se está convirtiendo en una práctica aceptable en muchos programas, no hay nada que pueda sustituir al contacto directo que propicia el compartir el mismo lugar de trabajo.

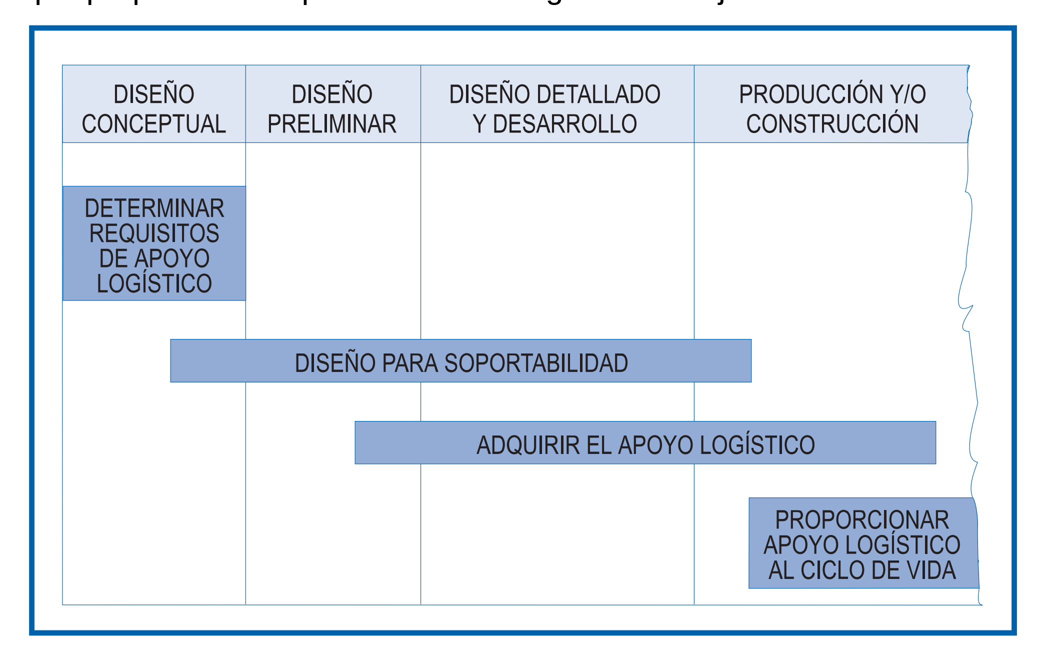


Figura 51. - ACTIVIDADES LOGÍSTICAS EN EL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA -

Podemos desglosar las actividades de diseño logístico en tareas diarias, y en funciones más formales de revisión programada de diseño. Las tareas cotidianas de ingeniería logística incluyen:

a) El establecimiento inicial de requisitos logísticos a nivel de sistema, y criterios de diseño para la soportabilidad (como datos de entrada para el diseño en todos los niveles).

b) La preparación de material logístico y de soportabilidad como datos de entrada para el desarrollo de especificaciones y planes.

c) El desarrollo de ayudas para facilitar el proceso global de diseño, siendo el principal objetivo la soportabilidad; es decir, listas de control, maquetas, simuladores, etc.

d) Proporcionar asistencia directa a los ingenieros de diseño, respondiendo a sus solicitudes de información y datos relativos a componentes que están siendo considerados para su incorporación en el diseño.

e) Elaboración de distintos análisis, previsiones y asesoramiento y evaluación de configuraciones específicas de diseño propuestos.

f) Proporcionar asistencia en la evaluación y selección de proveedores de componentes.

g) Proporcionar recomendaciones para mejorar el producto o el proceso.

h) Participación en todas las revisiones, formales e informales, de diseño.

Las actividades de ingeniería logística han de ser una parte

integrada de aquellas actividades de diseño a nivel de sistema. La Figura 52 muestra un ejemplo de este proceso de integración, enfatizando las actividades de fiabilidad y mantenibilidad como parte integral del proceso de ingeniería de sistemas

El análisis de apoyo logístico que se describe en la Sección 3.2 facilita la realización de las tareas arriba indicadas. En otras palabras, las herramientas y técnicas empleadas en el LSA tienen el fin de asegurar el objetivo de «diseño para soportabilidad», al que hacemos referencia en la presente monografía.

Fig. 52 en solapa

3.4. Prueba y evaluación del sistema

El proceso de «valorar» o «evaluar» el sistema en términos de sus características inherentes de soportabilidad comienza con la identificación de las medidas de prestaciones técnicas (TPM) y la especificación de requisitos durante la fase de diseño conceptual. A medida que se identifiquen las TPM aplicables, debe especificarse al mismo tiempo cómo será evaluado el sistema en términos del cumplimiento de dichos requisitos de medidas de prestaciones técnicas.

La Figura 53 identifica las diferentes etapas de evaluación del sistema durante su ciclo de vida. Los requisitos de prueba y evaluación del sistema se establecen en las primeras fases y han de identificarse las «medidas de efectividad logística» adecuadas, además del método de evaluación propuesto. A lo largo del proceso de adquisición del sistema, se comprobará si se están cumpliendo los requisitos especificados en una de las fases iniciales del ciclo de vida; es decir, cuando el coste que supone la incorporación de cualquier cambio es mínimo.

Refiriéndonos a la Figura 53, la evaluación del sistema en cuanto a soportabilidad puede realizarse por medio de una combinación de actividades. Durante las primeras fases de diseño, la utilización del

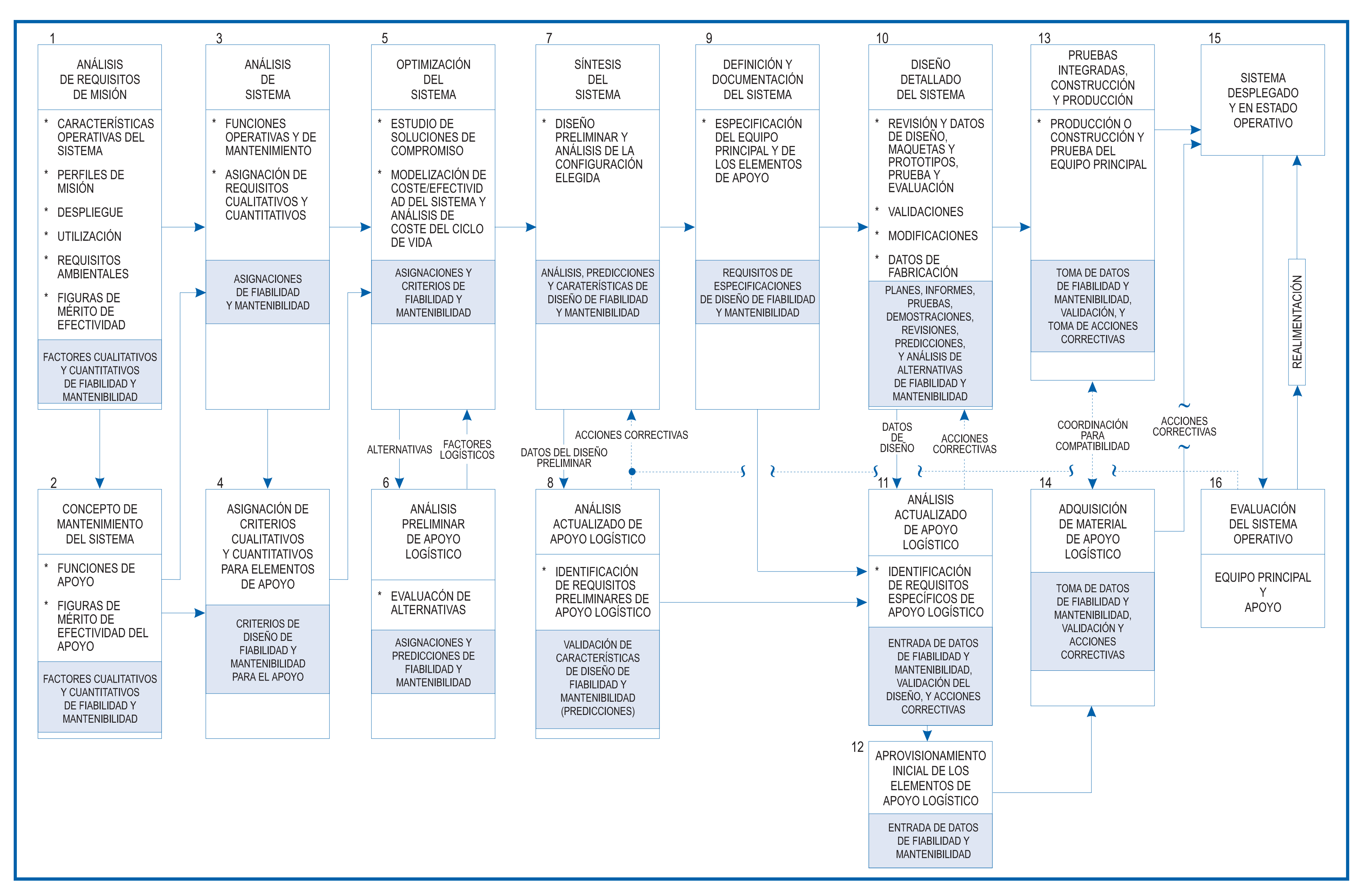


Figura 52. - INTEGRACIÓN DE ACTIVIDADES DE FIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD COMO PARTE DEL PROCESO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS -

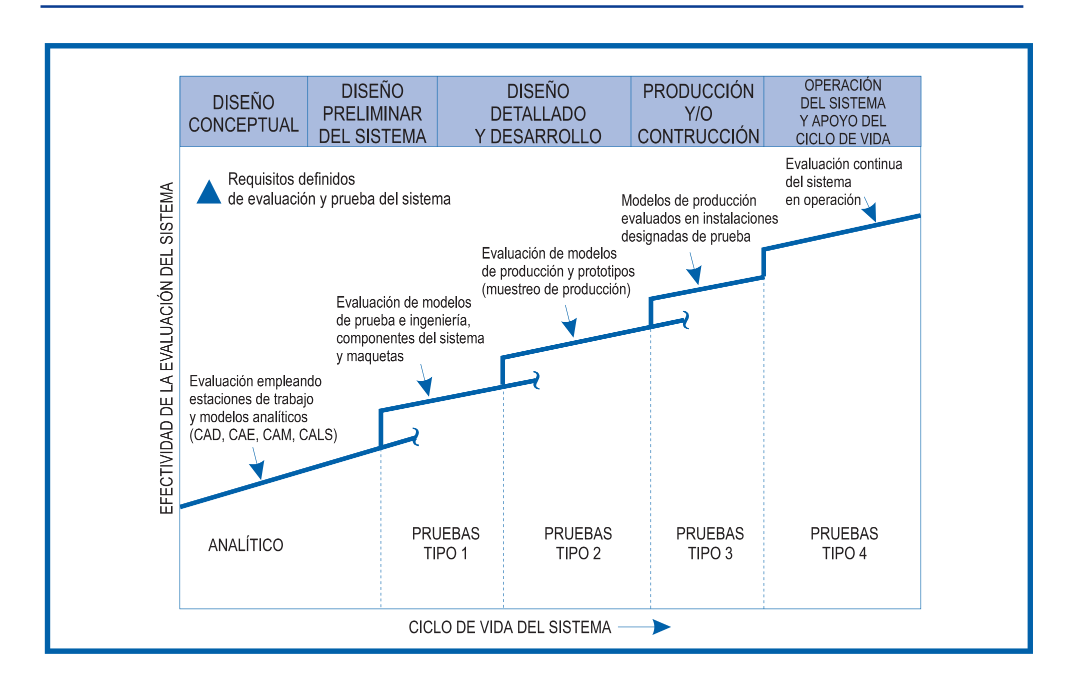


Figura 53. - ETAPAS DE LA EVALUACIÓN DEL SISTEMA EN EL CICLO DE VIDA -

diseño asistido por ordenador (Computer-Aided Design, CAD) y el desarrollo de modelos informatizados tridimensionales que ilustran la ubicación de los componentes del sistema, provisiones de acceso, la inclusión de personal (por ejemplo, 95% hombre-mujer) puede ayudarnos a evaluar las características de mantenibilidad. Durante las pruebas del tipo 1, es posible realizar algunas demostraciones de fiabilidad y mantenibilidad a nivel de componentes.

En el marco de las pruebas del tipo 2, y según sea el tipo de sistema y su misión, pueden especificarse una gran variedad de pruebas que facilitan información sobre la soportabilidad del sistema. Dichas pruebas, realizadas con cierta frecuencia y de manera independiente, pueden incluir: grado de fiabilidad, demostración de mantenibilidad, prueba y evaluación de personal, pruebas de compatibilidad de equipos de apoyo, verificación y validación de manuales técnicos, etc. Las pruebas de los tipos 3 y 4, realizadas en emplazamientos de campo y/o del usuario, representan en muchos

casos la primera oportunidad de evaluar el sistema en su conjunto; es decir, los elementos principales e infraestructura de apoyo.

El objetivo consiste en comprender primero los requisitos de pruebas, determinar el tipo de información (por ejemplo, datos) deseada que pueda proporcionar cada prueba individual, y desarrollar un plan de evaluación de soportabilidad como parte del Plan Maestro de Prueba y Evaluación (ver el Plan Maestro de Prueba y Evaluación reflejado en la Figura 8). Este plan de evaluación debe considerar también los requisitos del Plan de Apoyo Logístico Integrado reflejado en la Figura 11.

En muchas ocasiones, los requisitos de soportabilidad no se verifican hasta la etapa de las pruebas de tipo 4, identificada en la Figura 53, por lo que resulta bastante costoso introducir cualquier cambio necesario de diseño. Por otra parte, una evaluación realizada en una fase anterior puede ser de gran ayuda para proporcionarnos la seguridad de que los requisitos de soportabilidad del sistema se satisfarán a largo plazo. Se requiere un método integrado de las pruebas de verificación.

3.5. Obtención y adquisición de elementos de apoyo logístico

Dados los requisitos básicos del apoyo logístico, especificados en los datos del LSAR y CALS, el siguiente paso consiste en adquirir los elementos adecuados de forma oportuna; es decir, los recambios y repuestos e inventarios de apoyo, equipos de prueba y control, instalaciones, datos, personal capacitado, software, etc. En cada caso, el procedimiento debe incluirse en los Planes de Elementos del Apoyo Logístico Integrado, identificados en la Figura 11. A partir de ahí, se siguen los pasos adecuados para realizar cualquier combinación de las siguientes opciones:

a) Aprovisionamiento y obtención de recambios y repuestos comerciales estándar (Commercial off-the-Shelf, COTS), equipos estándar de prueba y apoyo, software reutilizable y datos de apoyo que provienen de fuentes accesibles de

suministro.

b) Diseño, desarrollo y fabricación de aquellos elementos «especiales» del sistema que se adquiere; es decir, aquellos no disponibles comercialmente.

c) Construcción y/o modificación de instalaciones según el caso, para que apoyen al sistema durante su vida útil programada.

d) Selección y formación del personal necesario para el desempeño de las funciones de operación y mantenimiento del sistema.

Respecto al punto «A», el «aprovisionamiento» inicial de recambios y consumibles incluye la tarea de codificación (identificación de fuentes de suministro), la preparación de listados de stocks y documentación de aprovisionamiento, la contratación con proveedores seleccionados, y la adquisición y entrega de material. Este proceso incluye la manipulación y el flujo de materiales, su transporte y almacenamiento, y las actividades logísticas relacionadas en el sector comercial (ver la Sección 1) [2].

La adquisición de artículos no estándar (por ejemplo, herramientas especiales y equipos de apoyo, repuestos designados) puede requerir algunas actividades de diseño y desarrollo y/o el nivel adecuado de producción. Las funciones logísticas relacionadas con los procesos de «producción» pueden ser divididas en dos facetas de actividad:

a) La producción y distribución de los elementos logísticos, identificados a través del análisis de apoyo logístico, que son necesarios para el mantenimiento y apoyo continuado del sistema en el campo, a lo largo de su período de uso (ver la Figura 4).

b) Las actividades relacionadas con el flujo de materiales, control de inventario, empaquetado, transporte y manipulación, almacenamiento, distribución, etc., que apoyan al proceso mismo de producción. Respecto a la producción, hemos de considerar el flujo total de materiales, desde la obtención de materias primas de varias fuentes hasta la entrega del producto terminado al usuario final o consumidor. Aquí se describen los principios de logística «comercial» [1].

El objetivo final es permitir y facilitar la transición desde la etapa de definición de requisitos, pasando por el diseño y desarrollo (según el caso), la producción y/o construcción, la distribución, y la instalación y verificación del sistema en su emplazamiento final, hasta que esté listo para su uso operativo. Los requisitos logísticos durante este proceso son muchos y variados, y existen varios textos que tratan este tema, los cuales aparecen en la Bibliografía. Aunque esta monografía describe estas actividades de forma muy superficial, deben no obstante ser tratadas en la ingeniería logística, y en el diseño del proceso global de producción y de la capacidad de distribución.

3.6. Apoyo temporal del contratista

Después de la entrega, instalación y verificación del sistema en el/los emplazamiento/s del cliente, se implementan los requisitos del plan detallado de mantenimiento (ver puntos 4.10 y 4.11 del ILSP de la Figura 11). Dichos requisitos, establecidos inicialmente durante el desarrollo del concepto de mantenimiento descrito en la Sección 3.1.2, son refinados y actualizados mediante la implementación del LSA. Se procede a su descripción empleando los datos del LSAR y CALS tratados en las Secciones 3.2.3 y 3.2.4. En cualquier caso, los resultados de este proceso evolutivo pueden asumir cualquiera de las modalidades siguientes:

a) Todas las actividades de mantenimiento del sistema (en cada

nivel de mantenimiento) serán realizadas por la organización del usuario.

b) Todas las actividades de mantenimiento del sistema (en cada nivel de mantenimiento) serán realizadas por el fabricante a lo largo de todo el ciclo de vida previsto. Esta actividad es a veces designada como «apoyo logístico del contratista» (Contractor Logistics Support, CLS).

c) Todas las actividades de mantenimiento del sistema (en cada nivel de mantenimiento) serán realizadas por el fabricante durante un período «x» a partir de la puesta en marcha del sistema. Posteriormente, la organización usuaria llevará a cabo todas las actividades de mantenimiento.

d) Todas las actividades de mantenimiento del sistema (en cada nivel de mantenimiento) serán realizadas por un contratista externo o una tercera parte, bajo la dirección de la organización del usuario. Esto puede incluirse también dentro del CLS.

e) La organización del usuario llevará a cabo todas las actividades de mantenimiento designadas a nivel organizativo y intermedio, mientras que el fabricante o una tercera parte realizará todas las actividades de mantenimiento designadas a nivel de almacén.

Básicamente, las actividades normales de mantenimiento de un sistema determinado pueden ser realizadas enteramente por la organización usuaria, el fabricante, un contratista externo o tercera parte, o una combinación de ellos. La decisión se basará en varios factores como la carga de trabajo de mantenimiento, las cláusulas de garantía del contrato relativas a determinados elementos del sistema, las implicaciones legales de responsabilidad por el producto, consideraciones de propiedad industrial, factores políticos, y el interés general que tenga el fabricante (o usuario) en proporcionar los servicios necesarios.

Además, se puede decidir el cambio de un método de apoyo o por otro a medida que el sistema avanza a lo largo del ciclo de vida. Por ejemplo, durante las fases iniciales de utilización del sistema, cuando el fabricante está todavía «activo», puede resultar conveniente que éste realice todas las actividades de mantenimiento designadas (o parte de ellas). Por otra parte, cuando la capacidad inicial de producción ya no existe (esto es, en la fase de «apoyo post-producción»), la organización usuaria debe asumir la responsabilidad completa del apoyo al sistema. Los elementos identificados inicialmente como no reparables, en el análisis de nivel de reparación (ver la Sección 3.2.2), han de ser reparados ahora por haber desaparecido su fuente inicial de suministro.

El apoyo temporal del contratista, según nuestra definición, se identifica principalmente con la alternativa «C» mencionada arriba, mediante la cual el fabricante o tercera parte puede proporcionar al sistema el apoyo logístico necesario durante un período de tiempo designado, hasta que la organización usuaria sea capaz de asumir la responsabilidad de dicho apoyo. La duración de este período interino puede variar según el tipo y complejidad del sistema, y el nivel de cualificación del personal usuario en la operación y mantenimiento del sistema. Es más, la «composición» específica del paquete de apoyo puede variar con el paso del tiempo. Dicho apoyo puede incluir el servicio de campo del contratista o el personal de servicio al cliente, encargado de la formación en la instalación del usuario, el despliegue de recambios/repuestos e inventarios de apoyo durante un período de tiempo designado, y/o el despliegue de equipos de prueba y apoyo interinos hasta la entrega de los artículos designados para uso operativo. De cualquier manera, se trata de proporcionar una capacidad de apoyo temporal hasta el momento en que el plan definitivo de mantenimiento pueda ser implementado.

3.7. Servicio al cliente y apoyo durante el ciclo de vida

Como hemos dicho, para el mantenimiento y apoyo del sistema a lo largo de su ciclo de vida previsto podemos elegir cualquiera de las

alternativas, o una combinación de ellas, descritas en la Sección 3.6. En este momento, debemos conceder especial importancia a la evaluación del plan de mantenimiento actualmente en uso. Una vez que el sistema ha sido desplegado con una capacidad operativa total y que está siendo utilizado por el usuario, surgen las siguientes cuestiones: (a) ¿cuáles son las «verdaderas» prestaciones y efectividad del sistema?; (b) ¿cuál es la «verdadera» efectividad de la capacidad de apoyo logístico?; (c) ¿se han cubierto los requisitos inicialmente establecidos?; (d) ¿son el sistema y la infraestructura de apoyo rentables?; y (e) ¿se están cumpliendo todas las expectativas del usuario?

Podemos diseñar y desarrollar un «gran» sistema en términos de los principales elementos relacionados a su misión, pero no tendrá un rendimiento adecuado a largo plazo si no dispone de una infraestructura efectiva de apoyo. Por lo tanto, es importante poder establecer una capacidad formal de información y realimentación de datos que permita una correcta evaluación del sistema a lo largo del tiempo. Aunque existen muchos métodos para la grabación, recogida y el análisis de datos, son muy pocos los que realmente proporcionan la información de campo necesaria que nos sirva desde la perspectiva de la ingeniería para identificar los problemas y mejorar el producto final. La pregunta clave es ¿sabemos realmente cómo funciona el sistema en el campo, su efectividad, si dispone de una infraestructura de apoyo adecuada, etc? En la mayoría de los casos, la respuesta es «¡no!».

Una forma «reactiva» de responder a los problemas no contribuye a mejorar el proceso o producto. Además, necesitaremos una buena base de datos histórica si queremos mejorar nuestras capacidades respecto a la implementación de herramientas/ métodos para la realización del análisis de apoyo logístico. Éste depende en gran medida de la disponibilidad de unos buenos datos de realimentación del campo. En cualquier caso, el proceso descrito en la Figura 54 debe ser establecido e implementado de manera continua. La referencia [2] incluye un método para el diseño y desarrollo de una capacidad para la recogida, análisis y realimentación de datos.

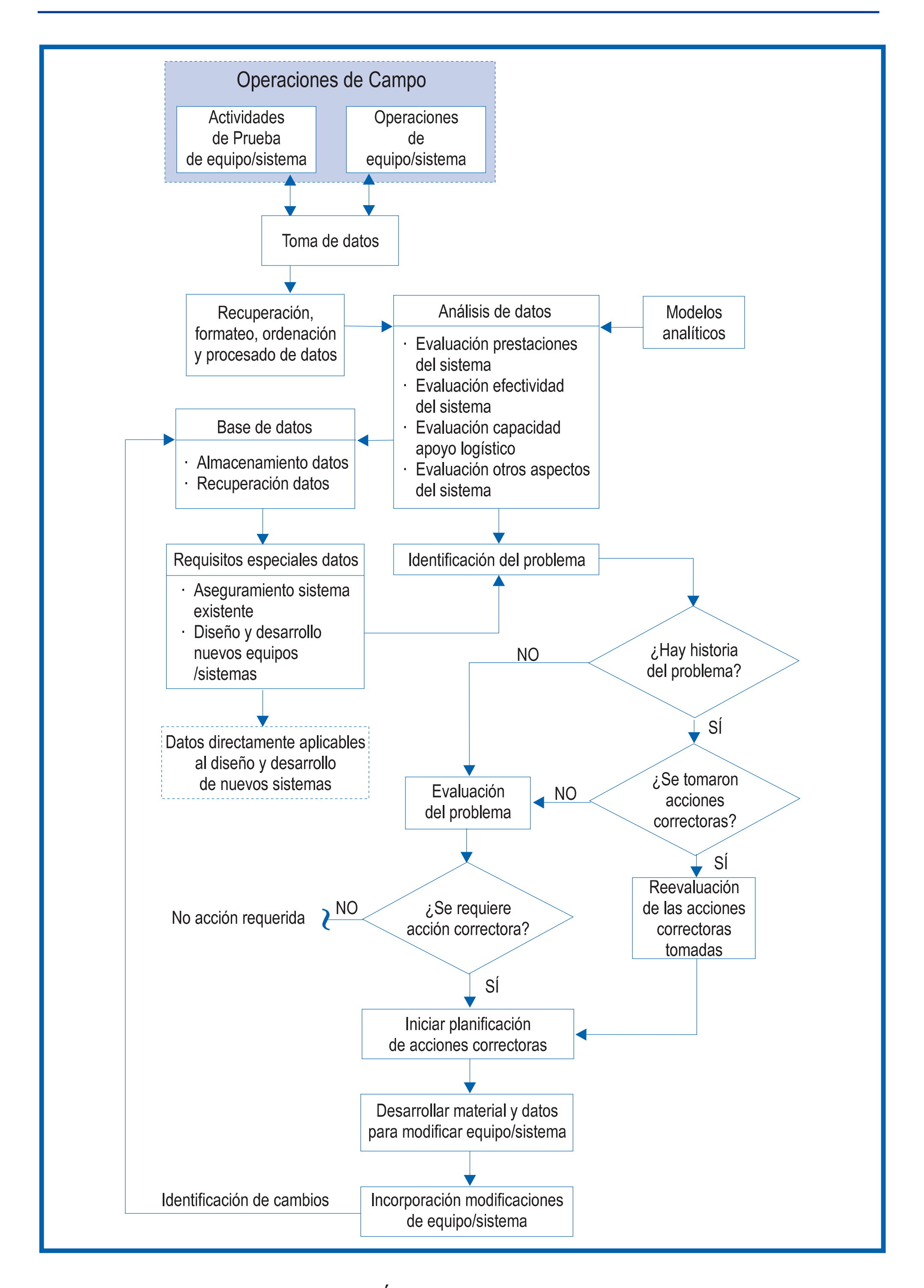


Figura 54. - CICLO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA Y ACCIONES CORRECTORAS -

3.8. Retirada del sistema y desecho o reciclaje del material

La literatura especializada suele dedicar poca atención a la retirada de sistemas, a la retirada progresiva y a la eliminación del material que ya no es requerido en el inventario operativo. Habitualmente, se considera el diseño y desarrollo de un sistema y su operación; sin embargo, en muchos casos no se tiene en cuenta adecuadamente la retirada progresiva y posterior desecho de dicho sistema (y sus elementos) hasta llegado el momento de hacer algo al respecto.

Si hemos de ser realistas, la retirada progresiva y desecho del material constituyen actividades relativamente importantes en el marco global del ciclo de vida del sistema. De hecho, los elementos no reparables se van eliminando del inventario a medida que se producen fallos del sistema en el campo. La retirada progresiva, y el desecho y/ o reciclaje de dicho material debe considerarse durante las fases del diseño conceptual y preliminar de un programa. El calendario de retirada progresiva y desecho debe responder a las siguientes cuestiones:

a) ¿Qué se deberá hacer con aquellos componentes del sistema cuya retirada progresiva del inventario se prevé, y dónde serán tratados?

b) ¿A que ritmo deben retirarse los elementos obsoletos?

c) ¿Cómo debe tratarse la desechabilidad en el proceso de diseño del sistema, y cuáles son las métricas adecuadas que deben emplearse?

d) ¿Qué proporción del material puede salvarse y reciclarse para otros fines? ¿Podremos re-procesar, convertir y utilizar el material en la fabricación de otro producto?

e) ¿Cumple el método de desecho propuesto los requisitos

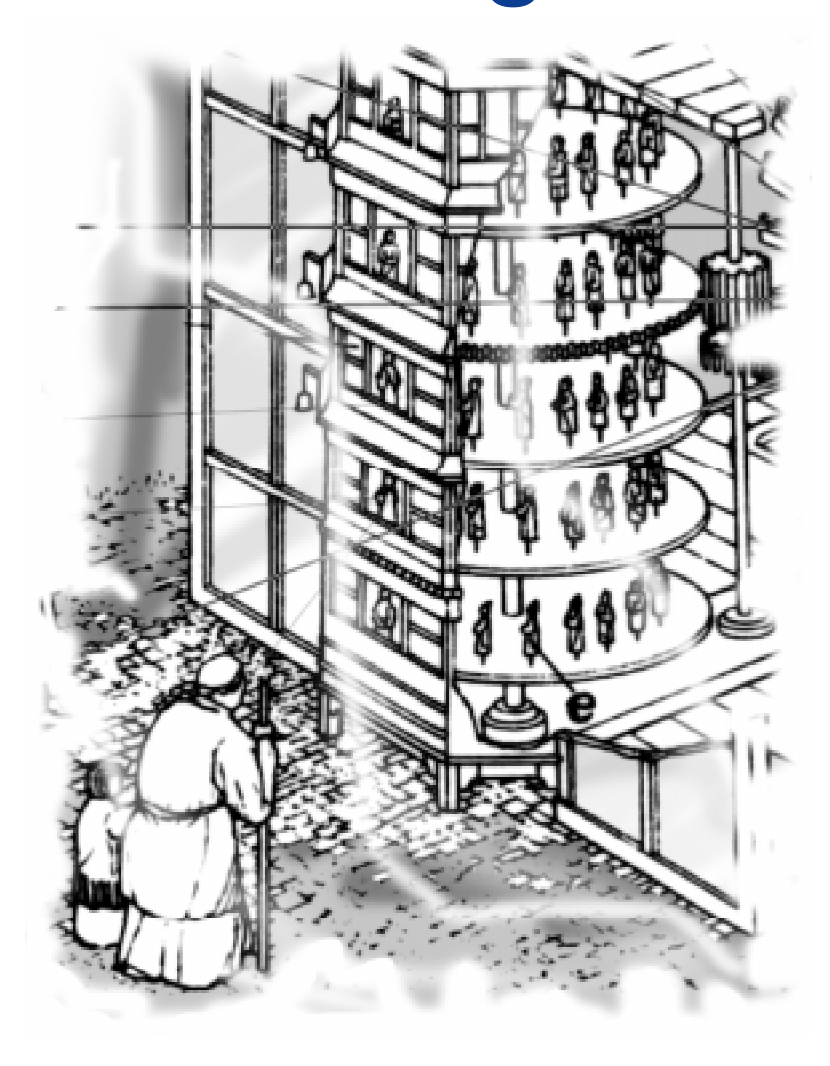
ecológicos, medioambientales, sociales, y similares?¿Cuáles son los efectos para el medio ambiente?

f) ¿Cuáles son los requisitos logísticos necesarios para llevar a cabo las funciones de retirada progresiva y desecho?

La realización de estas funciones puede suponer transporte y manipulación, desmontaje y descomposición, procesado, etc. Son también necesarios algunos elementos de apoyo logístico, como pueden ser equipos de transporte y manipulación, personal especializado, instalaciones y procesos técnicos. Estas funciones deben formar parte del proceso de diseño y los requisitos específicos de apoyo han de derivarse del análisis de apoyo logístico. Al igual que las otras actividades relacionadas con el diseño descritas anteriormente, esta fase de retirada del sistema y desecho de materiales debe ser llevada a cabo por medio de la implementación de las prácticas adecuadas de ingeniería logística.

4

Gestión logística



En todas las fases del ciclo de vida del sistema se llevan a cabo actividades logísticas, desde la etapa inicial de diseño conceptual, el desarrollo y prueba del sistema, la producción y/o construcción, utilización y apoyo hasta la retirada del sistema y desecho de material. El objetivo es influir en el diseño de forma que se incorporen las características adecuadas de soportabilidad y posteriormente evaluar el diseño y proporcionar una infraesructura eficiente de apoyo al sistema. A medida que el sistema evoluciona y entra en funcionamiento, la función de evaluación continúa con el fin de mejorar el diseño aun más mediante la mejora continua del proceso. Con referencia a la Figura 20, el énfasis inicial está en la «influencia en el diseño», luego «identificación de recursos» y, finalmente, «evaluación».

4.1. Requisitos del programa de logística

De acuerdo con la Figura 8, la implementación satisfactoria de cualquier programa depende de la planificación que se realice durante la fase de diseño conceptual. A medida que se identifica la necesidad del usuario y se elaboran los estudios de viabilidad para seleccionar un método técnico del diseño, se van estableciendo los requisitos que definen la estructura del programa, para que éste pueda ser implementado y el sistema se convierta en realidad.

La planificación comienza con la definición de los requisitos del programa (ver la Figura 10). Se identifican funciones y tareas logísticas,

se establece un método organizativo, se desarrolla una descomposición estructurada del trabajo, se describen políticas y procedimientos clave y se prepara e implementa un Plan de Apoyo Logístico Integrado (Integrated Logistics Support Plan, ILSP). De acuerdo con el ejemplo de formato de ILSP de la Figura 11, las actividades de ingeniería logística suelen desarrollarse a partir de los requisitos del programa especificados en el Plan de Gestión de Ingeniería del Sistema (System Engineering Management Plan, SEMP). La versión inicial del ILSP se centrará en todas aquellas actividades de ingeniería logística que han de realizarse durante las fases de diseño preliminar y de detalle del programa. A medida que evoluciona el trabajo de desarrollo del sistema, se revisa el ILSP con el fin de destacar las tareas asociadas con la adquisición de los distintos elementos de apoyo, la transición del sistema y de sus elementos desde el entorno del fabricante al del usuario, y el plan de mantenimiento que debe implementarse durante la fase de uso operativo.

Aunque las tareas concretas a realizar dependen de los requisitos iniciales del programa, y aunque éstas variarán en los distintos programas, la Figura 9 ilustra actividades que pueden formar parte de trabajo típico de desarrollo de un sistema. A pesar de que las funciones de ingeniería logística pueden realizarse en cada fase, esta monografía destaca las tareas iniciales relativas al análisis de requisitos, análisis de viabilidad, desarrollo de requisitos operativos y del concepto de mantenimiento, al análisis funcional y el análisis de apoyo logístico. Aquellas tareas de seguimiento relativas a la adquisición de componentes, la manipulación y el transporte, la distribución y el mantenimiento, etc, tienen la misma importancia dentro del marco global de los ILS y deben implementarse de forma correcta para poder cumplir los objetivos de «soportabilidad» especificados durante el proceso de desarrollo de la ingeniería.

4.2. Organización para logística

La adquisición y el mantenimiento del equilibrio correcto de recursos para satisfacer unos objetivos definidos es uno de los retos

de la logística. La falta de homogeneidad de las funciones y la diversidad de la formación y especialización del personal hace necesario un método de equipo bien integrado, altamente interdisciplinar y controlado. Además, los requisitos de implementación de un programa logístico determinado variarán de una fase a otra, creando una situación «dinámica». Para un proyecto de gran envergadura, la organización logística puede tener la forma de una estructura puramente funcional. Por otra parte, un método matricial puede ser más adecuado para estudiar los requisitos logísticos de proyectos más pequeños. Además, la estructura puede cambiar a medida que evoluciona el sistema desde el diseño conceptual hasta el diseño preliminar y de detalle. En cualquier caso, una aplicación «hecha a medida» es esencial.

Los requisitos logísticos de cualquier proyecto han de evolucionar de manera descendente, de acuerdo con la Figura 55; es decir, deben definirse como parte de los requisitos generales del sistema. Esta Figura destaca el alto grado de comunicación que debe existir entre la organización logística y las otras organizaciones que intervienen en el proyecto. Son muchas las interfaces, y la realización satisfactoria de las funciones logísticas requiere un conocimiento profundo de las responsabilidades y las tareas que deben realizar las muchas y distintas entidades organizativas. No solamente es necesario establecer comunicaciones estrechas a nivel de cliente y de fabricante, sino también de manera ascendente y descendente a nivel de proveedor. Es aquí donde desempeña un papel fundamental el desarrollo de una buena especificación del sistema Tipo «A» (en donde se definen requisitos técnicos del diseño) y un ILSP completo (en donde se definen los requisitos del programa).

A nivel de fabricante, la mayoría de las organizaciones de «proyectos» se basan en una estructura funcional, como la de la Figura 56. Las actividades logísticas suelen agruparse de forma que dependen de un vicepresidente (o equivalente), las actividades de ingeniería de otro, las de producción de otro, y así sucesivamente. Partiendo de dicha estructura básica, podemos establecer organizaciones con doble

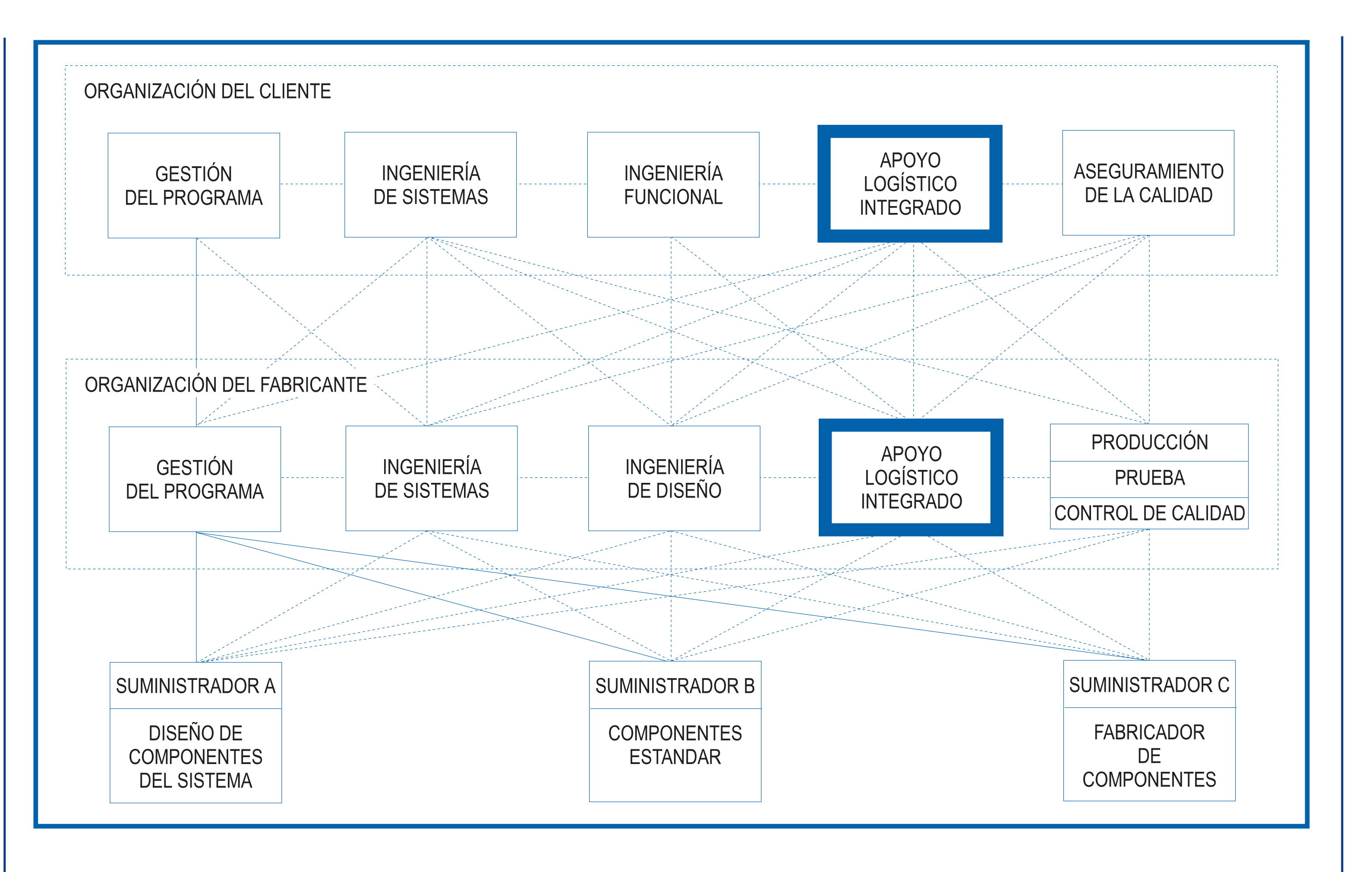


Figura 55. - INTERFACES CLIENTE/FABRICANTE/SUMINISTRADORES -

orientación al proyecto/funciones para satisfacer las necesidades según el caso. La Figura 47 de la monografía nº1 de esta serie refleja una estructura organizativa con doble orientación al proyecto/funciones, y las Figuras 57 y 58 ilustran y describen con mayor detalle las múltiples interfaces existentes. Las interfaces de actividades descritas en la Figura 58 deben ser consideradas en el ILSP (ver la Figura 11), y deben apoyar las tareas logísticas identificadas en la Figura 9.

Figura 56, en solapa
Figura 57,58 en solapa

Con relación a la Figura 58, existen ciertas tareas logísticas que están íntimamente relacionadas y cuya realización es necesaria para cumplir determinados objetivos del ‘proyecto’; hay otras tareas que pueden ser integradas y que se realizan de forma óptima por medio de una estructura organizativa «funcional», más centralizada. Refiriéndonos a la Sección 3.3, se adopta un método de «equipo» para realizar las tareas normales de diseño dentro de la organización del proyecto, siendo importante la presencia de la organización logística en dicho equipo. Por tanto, se favorece un método descentralizado, con personal cualificado, especializado en ingeniería logística, asignado al proyecto durante un período de tiempo especificado. Se cree que la ubicación «física» de los ingenieros logísticos al lado de los otros ingenieros responsables del diseño mejora la posibilidad de contribuir a la actividad global de diseño, asegurando que las características de soportabilidad queden reflejadas en el producto final.

Por otra parte, existen muchas tareas logísticas para las que resulta aconsejable adoptar un método «centralizado». Este permite emplear de forma efectiva los conocimientos expertos adquiridos en un proyecto para satisfacer los requisitos de otro, y en donde es esencial combinar los recursos de apoyo para mejorar la productividad (un caso ilustrativo, la utilización de recursos financieros considerables necesarios para el procesado de manuales técnicos). Por ejemplo, aunque un gran número de las tareas del LSA son únicas dentro de un proyecto determinado, es posible aplicar las experiencias de otros proyectos para facilitar la terminación de éstas. Los recursos necesarios para la preparación y el procesado de recambios/repuestos, los datos de aprovisionamiento y

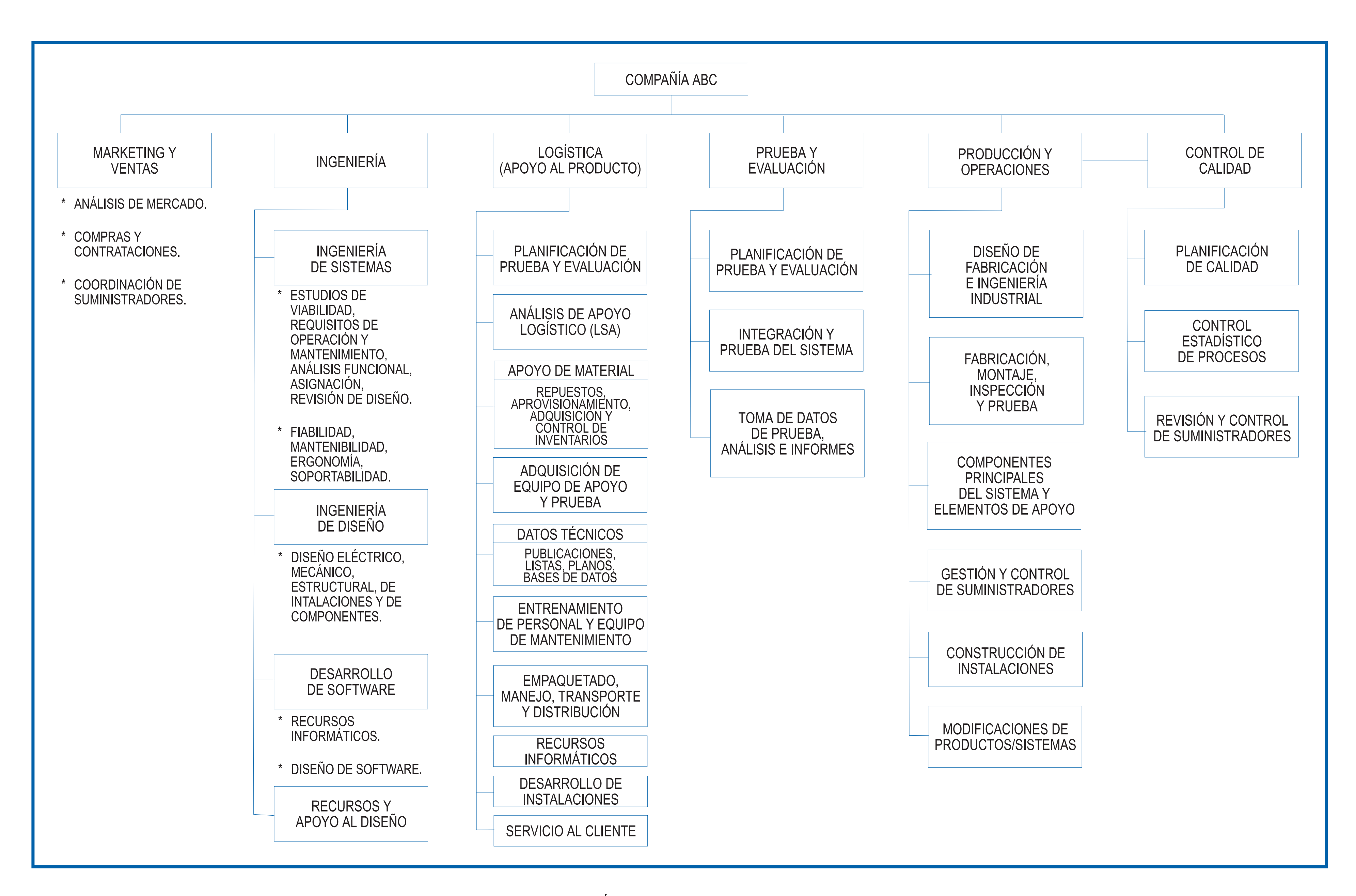


Figura 56. - ORGANIZACIÓN FUNCIONAL DE UN FABRICANTE (Ejemplo) -

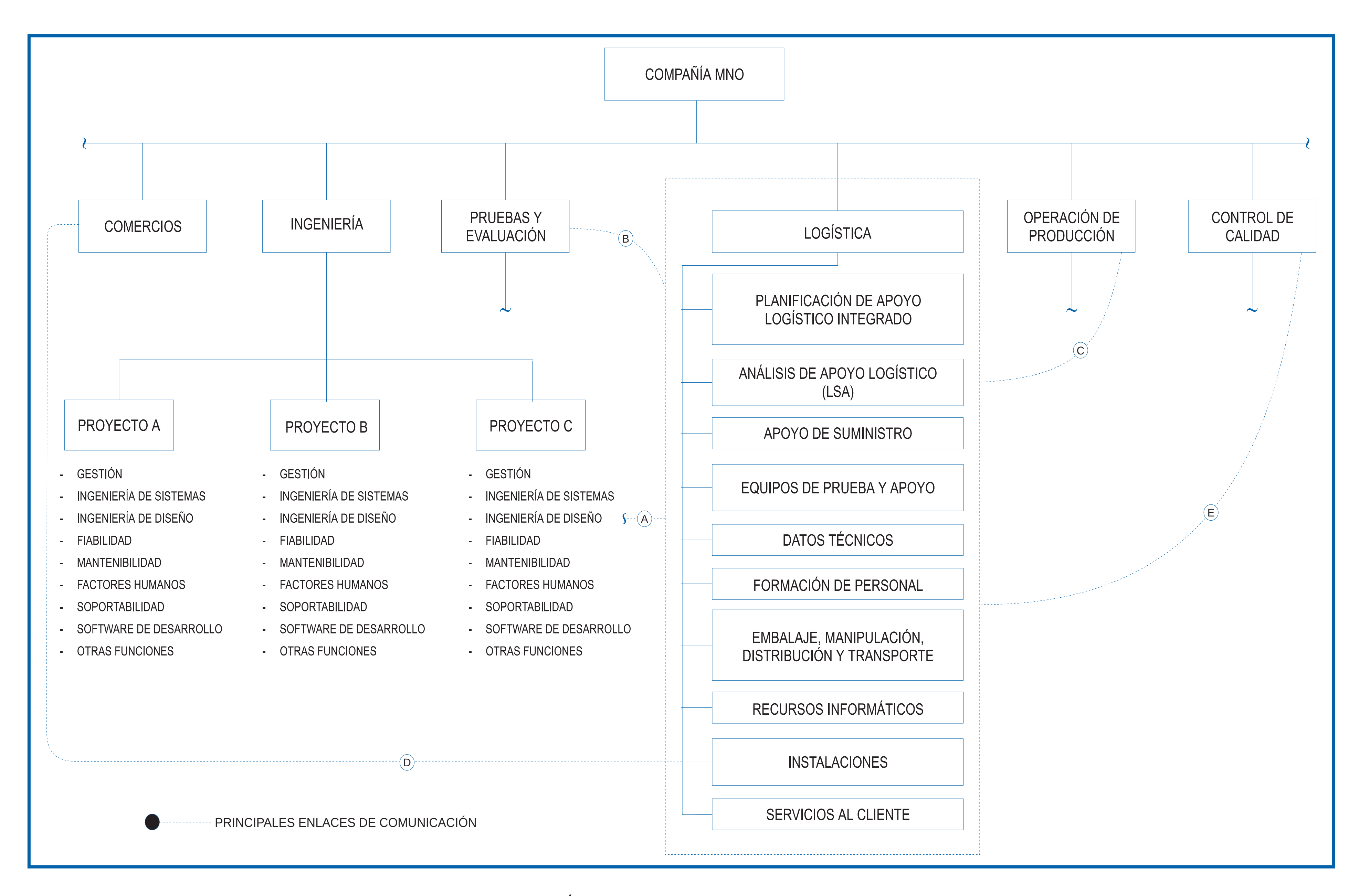


Figura 57 - ORGANIZACIÓN COMBINADA FUNCIONAL/DE PROYECTO (PARCIAL) -

CANAL DE COMUNICACIÓN	ORGANIZACIÓN DE APOYO (Requisitos de Interface)
A	Actividades de Proyecto: 1. GESTIÓN DEL PROYECTO: Determinar requisitos logísticos especiíficos de un proyecto determinado (es decir, tareas, calendarios, costes, etc.), y establecer enlace permanente y comunicación estrecha para asegurar la realización satisfactoria de las tareas relativas al proyecto. 2. INGENIERÍA DE SISTEMAS: Proporcionar datos de entrada para el diseño inicial y adquirir documentación por medio de los análisis de viabilidad, requisitos operativos del sistema, el concepto de mantenimiento, análisis funcional y la asignación de requisitos; proporcionar ayuda para la preparación de la especificación del sistema y de especificaciones subordinadas, según el caso; y participar en las revisiones del diseño. 3. INGENIERÍA DE DISEÑO: Establecer y mantener enlace estrecho para la determinación inicial de requisitos de fiabilidad para un programa determinado y en la subsiguiente realización de tareas de mantenimiento; adquirir información y datos de mantenibilidad para el análisis de apoyo logístico. 4. FIABILIDAD: Establecer y mantener estrecha relación en la determinación inicial de requisitos de fiabilidad de un programa dado y en el subsiguiente desarrollo de las tareas de fiabilidad, y obtener datos e información de fiabilidad para el análisis de apoyo logístico. 5. MANTENIBILIDAD: Establecer y mantener estrecha relación en la determinación inicial de requisitos de mantenibilidad de un programa dado y en el subsiguiente desarrollo de las tareas de mantenibilidad y obtener datos e información de mantenibilidad para el análisis de apoyo logístico. 6. INGENIERÍA DE FACTORES HUMANOS: Establecer y mantener enlace estrecho para la determinación inicial de requisitos de factores humanos para un programa determinado y en la subsiguiente realización de tareas de factores humanos; adquirir información y datos de factores humanos para el análisis de apoyo logístico. 7. INGENIERÍA DE SOPORTABILIDAD: Determinar requisitos de soportabilidad para un programa determinado y realizar funciones de ingeniería logística en el diseño. 8. DESARROLLO DE SOFTWARE: Proporcionar criterios iniciales de diseño para requisitos de software relativos al mantenimiento y apoyo del sistema, y asegurar la compatibilidad del software del sistema con los recursos informáticos para logística.

CANAL DE COMUNICACIÓN	ORGANIZACIÓN DE APOYO (Requisitos de Interface)
B	PRUEBA Y EVALUACIÓN: Establecer requisitos iniciales para prueba y evaluación de soportabilidad; apoyar directamente las actividades de prueba y evaluación del sistema; revisar y evaluar resultados de prueba y evaluación para valoración de soportabilidad.
C	OPERACIONES DE PRODUCCIÓN: (1) Ayudar a establecer los requisitos iniciales para el flujo de materiales en la fabricación, el montaje y la prueba de elementos principales orientados a la misión, y mantener apoyo continuado al mismo: (2) establecer los requisitos iniciales para la fabricación, el montaje y la prueba de recambios/repuestos, equipos especiales de prueba, etc. y proporcionar apoyo continuado a dichas actividades; y (3) proporcionar asistencia para el empaquetado, la manipulación, la distribución, el almacenamiento y el transporte de los componentes del sistema al consumidor.
D	Operaciones Comerciales: 1. MARKETING Y VENTAS: Adquirir y mantener las comunicaciones necesarias con el cliente. Se necesita información adicional relativa a requisitos del cliente, requisitos operativos y de apoyo del sistema. Esta va más allá del canal "contractual" formal de comunicaciones. 2. CONTABILIDAD: Adquirir datos de costes y presupuestos para facilitar los análisis económicos (p. ej. análisis del coste de ciclo de vida). 3. COMPRAS: Ayudar en la identificación, evaluación y selección de proveedores de componentes (con respecto a las implicaciones de soportabilidad) y en la adquisición de componentes. 4. RECURSOS HUMANOS (Personal): Solicitar asistencia para el reclutamiento inicial y contratación de personal cualificado para ingeniería logística, y para la subsiguiente formación y mantenimiento al día del personal. Desarrollar programas de formación para todos los niveles relativos a conceptos de logística, objetivos y la implementación de requisitos del programa. 5. GESTIÓN DE CONTRATOS. Mantenerse informado respecto a los requisitos (técnicos) del contrato entre el cliente y el contratista. Asegurarse de que tanto la estructura del contrato como las relaciones establecidas y mantenidas con los proveedores faciliten el cumplimiento de los requisitos logísticos para un programa determinado.
E	CONTROL DE CALIDAD: Establecer requisitos iniciales de calidad para los elementos de apoyo logístico, y mantener estándares de calidad en la adquisición de dichos elementos a proveedores. Proporcionar apoyo al programa global de gestión de calidad total (TQM).

Figura 58. - INTERFACES PRINCIPALES DE LOGÍSTICA -

las publicaciones técnicas deben ser centralizados en la mayor medida posible. La descentralización de algunos activos financieros puede resultar en redundancias innecesarias, y provocar costes innecesarios. En definitiva, el modelo más adecuado es una estructura combinada proyecto/funcional, como la de la Figura 57. Sin embargo, hay que adaptarla a las necesidades de cada programa individual.

Respecto a la «composición» de una organización, la naturaleza interdisciplinaria de la logística requiere una amplia gama de especializaciones por parte del personal. Las funciones a desempeñar incluyen las de planificación y gestión, las de diseño de ingeniería de detalle, análisis, redacción técnica, aprovisionamiento y suministro, transporte y distribución, mantenimiento y servicio al cliente, etc. Estas funciones, dispersas a lo largo del ciclo de vida del sistema, pueden variar de una fase del programa a otra, y el director de logística debe ser especialmente sensible a la no homogeneidad de estas características en el momento de seleccionar, contratar y situar el personal. La Figura 59

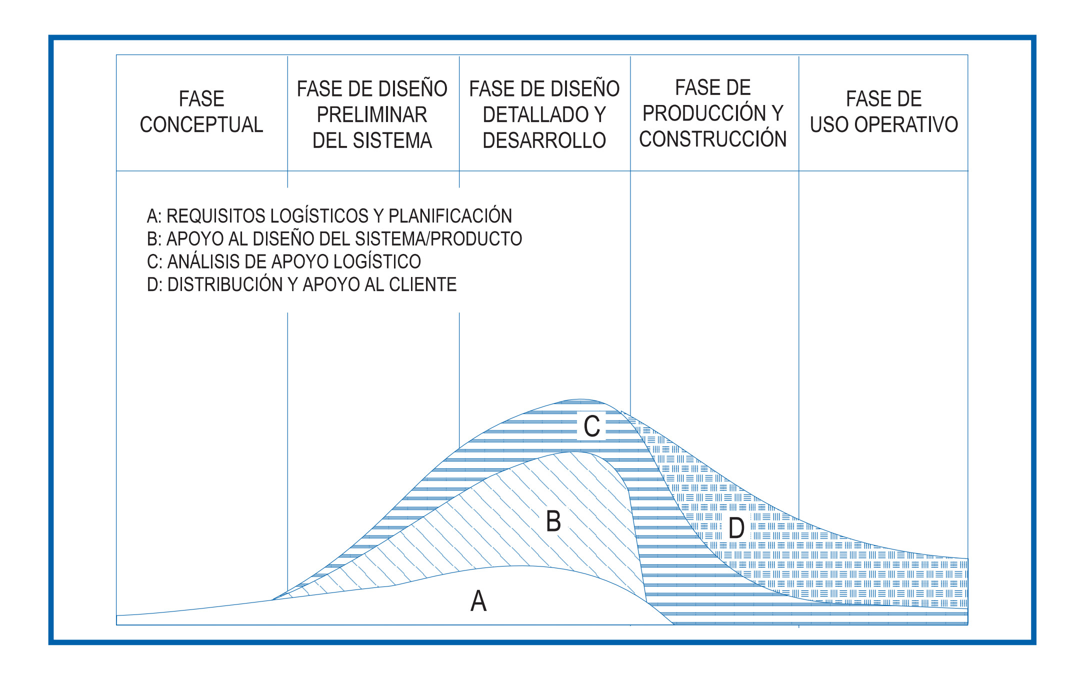


Figura 59. - CURVA TÍPICA DE DISTRIBUCIÓN DE PERSONAL -

muestra cómo dichas áreas de actividad pueden dividirse en cuatro categorías genéricas. La ingeniería logística es inherente a cada una de dichas categorías. No obstante, el énfasis está en las áreas de requisitos, integración del diseño y análisis de apoyo logístico.

4.3. Contratación para la logística

Con referencia a la Figura 55, en caso de que el fabricante quiera subcontratar elementos del sistema a uno o varios proveedores, la organización de cada proveedor debe adoptar la filosofía organizativa a la que se refiere la Sección 4.4. Los requisitos técnicos incluídos en la especificación del sistema de Tipo «A» deben ser asignados, y posteriormente incluídos en las especificaciones de Tipo «B», «C» y «D», según el caso. Los requisitos deben ser detectables desde la identificación de las medidas de prestaciones técnicas, hasta el nivel necesario para proporcionar una entrada de datos para el diseño de un nuevo artículo y/o la adquisición de un artículo comercial estándar. Al mismo tiempo, las actividades del proveedor y los requisitos del programa se identifican por medio del ILSP. El desarrollo de la estructura de descomposición del trabajo y de la información de tiempos y costes permite la iniciación de negociaciones del contrato, y los proveedores seleccionados pasarán a formar parte del equipo.

Respecto a la contratación, un método efectivo de asegurar que la logística recibe el nivel adecuado de atención consiste en definir claramente los requisitos del sistema, e identificar las TPM logísticas durante la fase de diseño conceptual, y posteriormente establecer en la estructura contractual resultante un plan bien definido de incentivos/multas basado en dichas TPM. Esta medida, acompañada por una revisión y evaluación eficaces del proveedor es esencial. Debemos realizar un seguimiento de aquellas TPM críticas en las que influyen las actividades de abastecimiento/suministro durante todo el proceso de revisión formal del diseño.

4.4. Gestión y control del programa

Con relación a la Sección 3 del esquema de ILSP mostrado en la Figura 11, las funciones y los controles necesarios relacionados con el programa deben integrarse en la planificación inicial. Dados los requisitos técnicos básicos a nivel de sistema y una buena especificación de alto nivel, el siguiente paso consiste en definir las actividades adecuadas del programa que deben ser implementadas con el fin de lograr el resultado deseado. Esta actividad de planificación inicial debe incluir:

a) Una descripción de las actividades y tareas del programa a desarrollar, presentadas en el contexto de una descripción de trabajo.

b) Un plan organizativo que defina las principales responsabilidades e interfaces.

c) El desarrollo de paquetes de trabajo y una descomposición estructurada del trabajo.

d) El calendario y la estimación de costes asociados a las tareas planificadas.

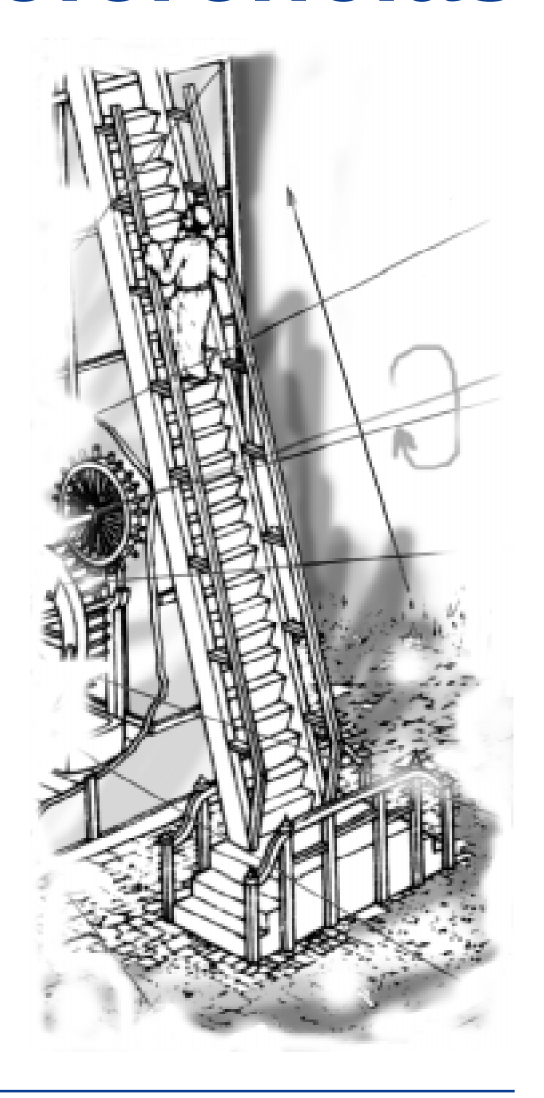
e) Una descripción de las previsiones normales de seguimiento y control que serán incorporadas para evaluar el curso del programa y sus actividades.

f) Un procedimiento para la elaboración de informes del proyecto y el proceso de acciones correctivas.

Las actividades mencionadas, por supuesto, corresponden a la implementación de métodos y procedimientos adecuados de gestión de proyectos. Aunque éste es un área importante y esencial para la consecución de los objetivos logísticos y de soportabilidad descritos

en esta monografía, los detalles concretos correspondientes al desarrollo de las descripciones de trabajo, descomposición estructurada de los trabajos, calendarios, estimaciones de costes, etc., no son tratados en el presente estudio. La referencia [2] trata con mucho más detalle la gestión de actividades de ingeniería logística.

Referencias



[1] Blanchard, B. S., Ingeniería de Sistemas, Serie de Monografías de Ingeniería de Sistemas, Isdefe, Madrid, España, 1995.

[2] Blanchard, B. S., Logistics Engineering and Management, 4th Ed., Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., EE.UU., 1992.

[3] Glaskowsky, N. A., D. R. Hudson, and R. M. Ivie, Business Logistics, 3rd Ed., Dryden Press, Harcourt Brace Jonanovich Co., Orlando, Fl, EE.UU., 1991.

[4] Blanchard, B. S., System Engineering Management, John Wiley & Sons, New York, N.Y., EE.UU., 1991.

[5] Blanchard, B. S., W. J. Fabrycky, and D. Verma (Eds), Application Of The System Engeneering Process To Define Requirements For Computer-Based Design Tools, Monograph, Society of Logistics Engenineers, 8100 Professional Place, Suite 211, New Carrollton, Maryland 20785, EE.UU., 1994.

[6] Blanchard, B. S., and W. J. Fabrycky, Systems Engineering And Analysis, 2nd Ed., Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., EE.UU., 1990.

[7] DODI 5000.2, «Defense Acquisition Management Policies And Procedures», Department of Defense, Washington, D. C., EE.UU., 1991.

[8] Freeman, R. G., Adquisición y apoyo continuado durante el Ciclo de Vida (CALS), Serie de Monografías de Ingeniería de Sistemas, Isdefe, Madrid, España, 1995.

[9] Knezevic, J., Reliability, Maintainability, And Supportability: A Probabilistic Approach, McGraw-Hill Co., Nueva York, EE.UU., 1993.

[10] Nachlas, J., Fiabilidad, Serie de Monografías de Ingeniería de Sistemas, Isdefe, Madrid, España, 1995.

[11] Blanchard, B. S., D. Verma, and E. Peterson, Mantainability: A Key To Effective Serviceability And Maintenance Management, John Wiley & Sons, Nueva York, EE.UU., 1995.

[12] Knezevic, J., Mantenibilidad, Serie de Monografías de Ingeniería de Sistemas, ISDEFE, Madrid, España, 1996.

[13] Sanders, M.S. and E. J. McCormick, Human Factors In Engineering and Design, 6th Ed., MacGraw Hill Book Co., Nueva York, EE.UU., 1987.

[14] Mondelo, P. y E. Gregori, Ergonomía, Serie de Monografías de Ingeniería de Sistemas, Isdefe, Madrid, España, 1996.

[15] Boehm, B. W., Software Engineering Economics, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., EE.UU., 1981; or Shere, K. D., Software Engineering and Management, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., EE.UU., 1988.

[16] Leon, G., Ingeniería Software, Serie de Monografías de Ingeniería de Sistemas, Isdefe, Madrid, España, 1996.

[17] DSMC, Integrated Logistics Support Guide, Defense Systems Management College, Fort Belvoir, Virginia 22060, EE.UU., 1994.

[18] MIL-STD-1388-1A, Military Standard, «Logistic Support Analysis», Department of Defense, Washington, D. C., EE.UU.

[19] MIL-STD-1388-2B, Military Standard, «Logistic Support Analysis Record», Department of Defense, Washington, D. C., EE.UU.

[20] Fabrycky, W. J. and B. S. Blanchard, Life-Cycle Cost And Economic Analysis, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J., EE.UU., 1991.

[21] Moubray, J., Realiability-Centered Maintenance, Butterworth-Heinemann, Ltd., Boston, MA., EE.UU., 1991; and Nowlan F. S. and H. F. Heap, Reliability-Centered Maintenance, United Airlines (MDA 903-75-C-0349), San Francisco, CA., EE.UU., 1978.

[22] Knezevic, J., Mantenimiento, Serie de Monografías de Ingeniería de Sistemas, ISDEFE, Madrid, España, 1996.

Bibliografía



Allen, M. K. & O. K. Helferich: *Putting Expert Systems to Work in Logistics,* Council of Logistics Management, 2803 Butterfield Road, Oak Brook, Illinois (USA), 1990.

Anderson, R. T. & L. Neri: *Reliability-Centered Maintenance,* Elsevier Science Publishing, Ltd., London, England, 1990.

Ballou, R. H.: *Business Logistics Management,* 3rd Edition, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey (USA), 1992.

Barnes, T. A.: *Logistics Support Training: Design and Development,* McGraw-Hill, Inc., Nueva York (USA), 1992.

Bowersox, D., D. Closs & O. Helferich: *Logistical Management,* Macmillan Publishing Co., Nueva York (USA) 1986.

Coyle, J. J., E. J. Bardi, & J. L. Cavinato: - *The Management of Business Logistics,* 4th Edition, West Publishing Co., St. Paul, Minnesota (USA), 1988.

- *Transportation,* West Publishing Co., St. Paul, Minnesota (USA), 1982.

Green, L. L.: *Logistics Engineering,* John Wiley & Sons, Inc., Nueva York (USA), 1990.

Hutchinson, N. E.: *An Integrated Approach to Logistics Management,* Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey (USA), 1987.

Jardine, A. K. S.: *Maintenance, Replacement, and Reliability,* A Halsted Press Book, John Wiley & Sons, Inc Nueva York (USA), 1973.

Johnson, J. C., & D. F. Wood: *Contemporary Logistics,* 4th Edition, Macmillian Publishing Co., Nueva York (USA), 1990.

Jones, J. V.: - *Logistic Support Analysis Handbook,* Tab Books, Inc., Blue Ridge Summit, Pennsylvania (USA), 1989.

- *Integrated Logistics Support Handbook,* Tab Books, Inc., Blue Ridge Summit, Pennsylvania (USA), 1987.

Langford, J. W.: *Logistics Principles and Practices,* McGraw-Hill, Inc., Nueva York (USA)1995.

Magee, J. F., W. C. Copacino & D. B. Rosenfield: *Modern Logistics Management,* John Wiley & Sons, Inc Nueva York (USA), 1973.

Nakajima, S.: *Total Productive Maintenance (TPM),* Productivity Press, Inc., Portland, Oregon (USA), 1988.

Nakajima, S. (Ed.): *TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance,* Productivity Press, Inc., Portland, Oregon (USA), 1989.

Nieble, B. W.: *Engineering Maintenance Management,* Marcel Dekker, Inc., Nueva York (USA), 1985.

Nowlan, F.S. & H. F. Heap: *Reliability-Centered Maintenance,* United Airlines (MDA 903-75-C-0349), San Francisco, California (USA),1978.

Orsburn, Douglas K.: *Introduction To Spares Management,* Academy Printing & Publishing Co., 16202 S. Orange Avenue, P. O. Box 560, Paramount, California (USA), 1985.

Patton, J. D.: *Maintainability and Maintenance Management,* 2nd Edition, Instrument Society of America, 67 Alexandria Drive, P. O. Box 12277, Research Triangle Park, N. C. (USA), 1988.

Sherbrooke, C. C.: *Optimal Inventory Of Systems: Multi-Echelon Techniques,* John Wiley & Sons, Inc., Nueva York (USA), 1992.

Smith, A. M.: *Reliability-Centered Maintenance,* McGraw-Hill Inc., Nueva York (USA),1993.

Stock, James R., & Douglas M. Lambert: *Strategic Logistics Management,* 2nd Edition, Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Illinois (USA), 1987.

- *Air Force Journal Of Logistics,* U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. (USA)

- *MIL-HDBK-59A. Computer-Aided Acquisition Logistic Support (CALS), Implementation Guide,* Department of Defense, Washington, D.C. (USA)

- *MIL-HDBK-226. Application of Reliability-Centered Maintenance to Naval Aircraft, Weapon Systems, and Support Equipment,* Department of Defense, Washington, D.C. (USA)

- *MIL-STD-1388-1A. Logistic Support Analysis,* Department of Defense, Washington, D.C. (USA)

- *MIL-STD-1388-2B.Department of Defense Requirements for a Logistic Support Analysis Record,* Department of Defense, Washington, D.C. (USA)

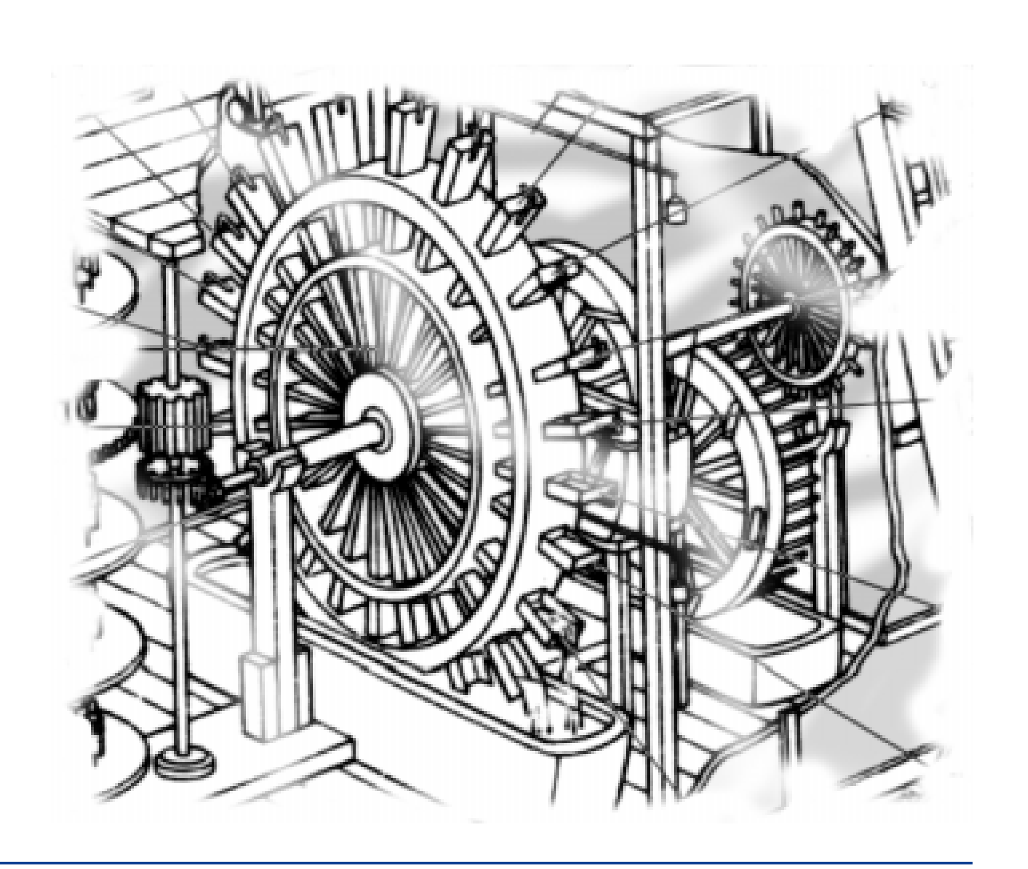
- *Society of Logistics Engineers (SOLE).Annals,* 8100 Professional Place, Suite 211, New Carrollton, Maryland (USA)

- *Society of Logistics Engineers (SOLE). Logistics Spectrum,* 8100 Professional Place, Suite 211, New Carrollton, Maryland (USA).

- *Society of Logistics Engineers (SOLE).Proceedings: Annual Symposium,* 8100 Professional Place, Suite 211, New Carrollton, Maryland (USA)

- *Journal of Business Logistics,* Council of Logistic Management, 2803 Butterfield Road Brook, Illinois (USA).

Glosario



1. ANÁLISIS FUNCIONAL. El proceso iterativo de estructurar, o descomponer, los requisitos de nivel sistema, a los subsistemas y, descendiendo por la estructura jerárquica lo necesario hasta identificar los medios específicos y los diversos componentes del sistema. Representa ser una definición del sistema (y actividades asociadas) en términos funcionales, e incluye las funciones de diseño del sistema, las funciones de producción, las funciones operativas, las funciones de mantenimiento y apoyo, etc. La realización del análisis funcional se facilita mediante la utilización de diagramas de bloque de flujos funcionales.

2. ASIGNACIÓN DE REQUISITOS. La descomposición de los requisitos del sistema descendiendo hasta los niveles necesarios para proporcionar una entrada significativa al diseño y/o adquisición de un determinado componente del sistema. Las medidas de prestaciones técnicas, especificadas para el sistema, se asignan al nivel de subsistema, unidad, conjunto, o componente de nivel inferior según sea necesario. El objetivo es establecer la «capacidad de seguimiento» de los requisitos, inicialmente de arriba-abajo, y posteriormente de abajo-arriba.

3. EFECTIVIDAD. Medida en la que un sistema cumple los requisitos especificados.

4. FIABILIDAD. Probabilidad de que un sistema funcione correctamente, durante un tiempo determinado, en un entorno dado.

5. INTEGRACIÓN DEL DISEÑO. La integración efectiva de los requisitos de diseño (como parte del proceso de análisis de requisitos), de las diversas disciplinas de diseño a través de la fase de desarrollo del sistema (como son, ingeniería eléctrica, ingeniería mecánica, ingeniería de estructuras, ingeniería de fiabilidad, ingeniería de mantenibilidad, factores humanos, seguridad, soportabilidad, manufacturabilidad, desechabilidad, etc.), y el subsiguiente esfuerzo de prueba y evaluación y actividades afines. Incluye la aplicación de las técnicas y/o herramientas adecuadas que ayuden a la concurrencia en el diseño, así como la gestión oportuna y efectiva del proceso de diseño.

6. LOGÍSTICA. Un enfoque disciplinado a la distribución y mantenimiento y apoyo continuado de un sistema a lo largo de su ciclo de vida previsto. Evoluciona de la definición del concepto de mantenimiento e incluye actividades tales como la determinación inicial de los requisitos de soportabilidad como parte del proceso de análisis de requisitos, el diseño del sistema para soportabilidad, la obtención y adquisición de los diversos elementos de apoyo, las actividades relacionadas con el manejo y la distribución de material, así como al mantenimiento y apoyo del sistema en el campo. Los elementos de apoyo incluyen personal; aprovisionamiento (repuestos, reparables, e inventarios de apoyo); equipo de apoyo y prueba; embalaje, manejo, almacenaje y transporte; instalaciones; datos técnicos; recursos informáticos (esto es, software de mantenimiento).

7. MANTENIBILIDAD. Medida de la facilidad con la que puede mantenerse un sistema.

8. MANTENIMIENTO. Conjunto de tareas realizadas para mantener un sistema en, o devolverlo a, estado operativo.

9. SISTEMA. Una combinación de recursos (como seres humanos, materiales, equipos, software, instalaciones, datos ,etc.) integrados de forma tal que cumplan una función específica en respuesta a

una necesidad designada de un usuario. No sólo incluye los recursos utilizados directamente en el cumplimiento de la misión (esto es, equipo principal, software operativo, personal usuario), sino también los diferentes elementos del apoyo (como por ejemplo: equipos de apoyo y prueba, repuestos y requisitos relacionados de inventario, personal de mantenimiento e instalaciones). Un sistema, tal y como hace referencia en esta monografía, es hecho por el hombre, ocupa espacio físico, es dinámico por naturaleza, y es de lazo abierto en términos de ser interactivo e interdisciplinar.

Esta primera edición de
INGENIERÍA LOGÍSTICA
de la serie de
Monografías de Ingeniería de Sistemas
se terminó de imprimir el día
31 de octubre de 1995.